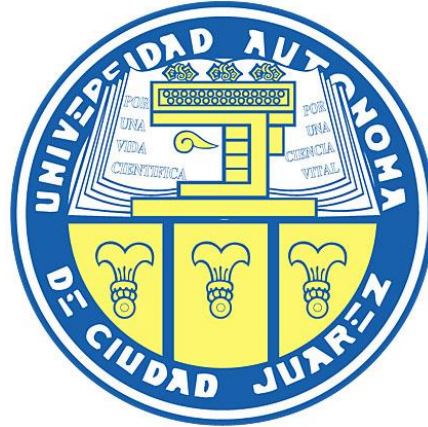


# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIUDAD JUÁREZ

## INSTITUTO DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y DE MANUFACTURA



**Optimización del diseño de un componente automotriz para disminución de *sink marks* con Moldflow®**

PROYECTO QUE PRESENTA

**DANIELA ALEJANDRA RODRÍGUEZ GARCÍA**

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRÍA EN INGENIERÍA EN MANUFACTURA**

Director

**DR. DELFINO CORNEJO MONROY**

Co-Director

**DR. JOSÉ OMAR DÁVALOS RAMÍREZ**

Ciudad Juárez, Chihuahua.

21 de mayo de 2020

# ÍNDICE

RESUMEN .....	7
ABSTRACT .....	8
1. INTRODUCCIÓN .....	9
1.1 Planteamiento del problema.....	12
1.2 Objetivos .....	12
1.2.1 Objetivo general .....	12
1.2.2 Objetivos particulares.....	13
1.3 Hipótesis .....	13
1.4 Justificación.....	13
1.5 Alcance y delimitación.....	14
1.6 Cronograma .....	15
2. MARCO TEÓRICO .....	18
2.1 Introducción.....	18
2.2 Industria automotriz.....	18
2.3 Los plásticos en la industria automotriz .....	19
2.4 Procesos de conformado para plásticos .....	20
2.5 Defectos en el moldeo por inyección .....	22
2.6 Manufactura asistida por computadora .....	25

2.7	¿Cómo se usa la manufactura asistida por computadora en la industria automotriz? .....	30
3.	METODOLOGÍA.....	32
3.1	Medición de piezas físicas .....	33
3.2	Identificación de errores de diseño .....	33
3.3	Preparación de geometría para simulación.....	34
3.4	Parámetros de proceso de inyección en planta .....	36
3.5	Obtención de modelo 3D del molde para extracción de líneas de agua y de inyección.....	37
3.6	Simulación del proceso con el diseño actual.....	38
3.7	Rediseño de pieza para evitar <i>sink marks</i> .....	39
3.8	Simulación con piezas rediseñadas .....	39
4.	RESULTADOS.....	39
4.1	Medición de piezas físicas .....	39
4.2	Identificación de errores de diseño .....	40
4.3	Preparación de geometría para simulación.....	41
4.4	Parámetros de proceso de inyección en planta .....	42
4.5	Obtención de modelo 3D del molde para extracción de líneas de agua y de inyección.....	44
4.6	Simulación del proceso con el diseño actual.....	45

4.7	Rediseño de pieza para evitar <i>sink marks</i> .....	48
4.8	Simulación con piezas rediseñadas .....	49
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	58
6.	GLOSARIO .....	59
7.	BIBLIOGRAFÍA .....	60

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Cronograma Agosto - Noviembre 2019.....	16
Figura 1.2	Cronograma Enero - Mayo 2020.....	17
Figura 2.1	Materiales utilizados para la fabricación de un automóvil. ....	20
Figura 2.2	Rebabas.....	23
Figura 2.3	Sink marks .....	24
Figura 2.4	Líneas de soldadura.....	24
Figura 2.5	Equipos involucrados para lograr un diseño robusto .....	30
Figura 3.1	Diagrama de flujo de metodología de proyecto.....	32
Figura 3.2	Fotos de cubierta de central eléctrica con sink marks.....	33
Figura 3.3	Costillas en cubierta de central eléctrica.....	33
Figura 3.4	Ejemplo de guía para costillas .....	34
Figura 3.5	Características para simplificaciones de geometría (Chañón/redondeo) .....	35
Figura 3.6	Ejemplo de a) Redondeo para alivio de estrés y b) Redondeo estructural ..	36
Figura 3.7	Hoja de proceso .....	37
Figura 3.8	Modelo 3D del molde .....	38

Figura 4.1 Formato de dimensionamiento de piezas.....	40
Figura 4.2 Cubierta de central eléctrica donde se muestra el espesor de costilla de 1.78 mm, el cual es mayor al máximo recomendado de 1.5 mm .....	41
Figura 4.3 Antes y después de la cubierta de la central eléctrica, eliminación de gráficos y redondeos de 0.4 mm o menos .....	42
Figura 4.4 Parámetros del proceso de inyección de plástico en planta. ....	43
Figura 4.5 a) Vista del molde de líneas de enfriamiento y línea de inyección, b) Líneas extraídas del moldeo importadas a Moldflow .....	45
Figura 4.6 Resultados de la simulación en Moldflow® para la estimación de sink marks en el diseño actual de la cubierta que van desde 0.0025 mm hasta 0.0035 mm. ....	46
Figura 4.7 Cubierta mostrando la pared crítica para el análisis de warpage en el eje x. ....	46
Figura 4.8 Resultados de la simulación en Moldflow® para el warpage en el eje X en el diseño actual de la cubierta.....	47
Figura 4.9 Antes y después del aumento de grosor del piso de la cubierta. ....	48
Figura 4.10 Antes y después de eliminar costillas de la cubierta. ....	48
Figura 4.11 Antes y después de eliminar costillas y agregar estructura "honey comb" en la cubierta.....	48
Figura 4.12 Antes y después de eliminar costillas y agregar un "groove" en la cubierta. ....	49
Figura 4.13 Resultados de la simulación en Moldflow® para la estimación de sink marks con diseño de aumento de grosor en la cubierta que van desde 0.0051 mm hasta 0.0061 mm. ....	50

Figura 4.14 Resultados de la simulación en Moldflow® para el warpage en el eje X con el rediseño de aumento de grosor en la cubierta. ....	51
Figura 4.15 Resultados de la simulación en Moldflow® para la estimación de sink marks con el rediseño sin costillas que muestran 0.00 mm de depresión. ....	52
Figura 4.16 Resultados de la simulación en Moldflow® para el warpage en el eje X con el sin costillas en la cubierta.....	53
Figura 4.17 Resultados de la simulación en Moldflow® para la estimación de sink marks con rediseño agregando honey comb en la cubierta que van desde 0.0026 mm hasta 0.0053 mm. ....	54
Figura 4.18 Resultados de la simulación en Moldflow® para el warpage en el eje X con el rediseño agregando estructura tipo honey comb. ....	55
Figura 4.19 Resultados de la simulación en Moldflow® para la estimación de sink marks con rediseño agregando un groove que tiene 0 mm de depresión. ....	56
Figura 4.20 Resultados de la simulación en Moldflow® para el warpage en el eje X con el rediseño agregando un groove.....	57

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1 Resumen de resultados. ....	57
---------------------------------------	----

## **RESUMEN**

En este trabajo de investigación se presenta el proyecto realizado en una empresa de la industria automotriz, que produce diferentes productos estudio realizado a el proceso de inyección de plástico desde sus propiedades reológicas y el cómo estas pueden afectar la calidad de la parte moldeada, hasta la simulación por elemento finito, demostrando que el uso de los programas computacionales en la industria manufacturera de plásticos estos son muy útiles para identificar defectos de calidad, además de poder corregir a tiempo futuros problemas de calidad.

Además, se presentan el funcionamiento del proceso y sus variables de mayor impacto en el defecto de calidad analizado en la presente tesis con la finalidad de disminuir el porcentaje de piezas defectuosas en el proceso.

## **ABSTRACT**

The following presentation demonstrates research work for a project conducted by an automotive industry company, which produces different products. The study was made over plastic injection process from its rheological properties and how these can affect the quality of the molded part, to the simulation of finite element analysis. Finite element analysis or FEA demonstrates the use of computer programs in the manufacturing industry of plastics and how they are very useful in identifying quality defects on time before any plastic parts are produced. In addition, the operation of the process and its variables of greater impact in the quality defect analyzed in the present thesis are presented with the purpose of diminishing the percentage of defective pieces in the process.

# 1. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas ha aumentado el uso de polímeros como materia prima en la industria, principalmente por su bajo costo, larga vida útil, así como los múltiples procesos de fabricación en los que pueden ser aprovechados, por ejemplo, el moldeo por inyección.

El moldeo por inyección es uno de los métodos más usado para el procesamiento de plásticos en las industrias por que ofrece más rendimientos técnicos y económicos. Por ejemplo, para la elaboración de piezas con requerimientos específicos como lo es la consistencia dimensional, bajo peso, mayor aguante al desgaste y aislamiento eléctrico, entre otros [1].

Sin embargo, como en todos los procesos, el moldeo por inyección puede experimentar problemas durante la etapa de producción provocando defectos en el producto final. Es decir, existen factores que impactan en nuestro proceso y, por lo tanto, el producto. Algunos de dichos factores son la máquina, el molde, la materia prima, el equipo periférico de acabado y manejo de las piezas moldeadas, que incluye secadoras, molinos, climas etc. Los primeros cuatro factores señalados involucran a su vez otras variables como los tiempos, las presiones, temperaturas y velocidades. En el proceso de moldeo por inyección dichas variables se pueden modificar para prevenir defectos en el producto final [2]. Sin embargo, aunque los valores de dichas variables sean los adecuados el proceso de moldeo se puede ver afectado desde la etapa de diseño, y por ende se obtiene un producto con defectos. Lo que genera un efecto resultado negativo en el producto final y un impacto en el costo; dado lo anterior se han desarrollado herramientas para predecir la presencia de fallas, lo que ha ayudado al proceso de

moldeo a aumentar su efectividad. Una de las herramientas más utilizadas son los programas de simulación como MoldFlow® y sus derivados dependiendo de la aplicación y complejidad que se necesite [3], Moldex3D [4], Sigmasoft® [5], una extensión de la licencia de Solidworks® para análisis de flujo de plásticos [6], entre otros.

Actualmente, los programas de simulación para el moldeo por inyección son herramientas útiles en la predicción del comportamiento del plástico en la pieza a manufacturar, permitiendo optimizar dicha pieza y ahorrando así costos por modificaciones futuras por un mal diseño. Es decir, esta herramienta contribuye a la disminución de defectos en las piezas manufacturadas, que se pueden manifestar de muchas formas, desde defectos visuales como *sink marks* [7], hasta problemas físicos como las líneas de unión [8]–[10]. Hay defectos que no afectan a la resistencia ni a la funcionalidad de la pieza, pero se consideran defectos de calidad inaceptables; como lo son los *sink marks* [11], ya que se muestran como depresiones en la superficie de la pieza moldeada. Estas depresiones suelen ser muy pequeñas; sin embargo, a veces son claramente visibles, ya que reflejan la luz que llega a la pieza en distintas direcciones [3].

Las posibles soluciones a los *sink marks* pueden ser la optimización de la presión de compactación, reducción de la contracción volumétrica, cambiar la ubicación de las entradas, optimizar el diseño del sistema de canales, usar un material diferente y cambiar la geometría de la pieza minimizando secciones gruesas que se crucen con la superficie principal [3], esta última, implica un cambio en la geometría del diseño, donde pueden usarse una serie de guías para modelado de piezas que se manufacturan por inyección [12], entre las cuales destaca la relación que debe de existir entre una costilla con la superficie principal, pero muchas de las veces esta relación no puede ser respetada por

el tipo de pieza. Por tal motivo, al tratar de usar este tipo de estructura para dar rigidez a alguna pieza puede resultar perjudicial pudiendo provocar *sink marks*.

Dependiendo del tipo de pieza es necesario agregar estructura para evitar deformación en ella para que se logre obtener una pieza lo más cercano a lo ideal. Agregar costillas puede ayudar, pero si estas provocan *sink marks* puede no ser buena elección para dar rigidez a cualquier pieza donde sea necesario; para evitar la presencia de estos posibles defectos se pueden reducir el grosor de dichas costillas respetando las guías de diseño o implementar otras estructuras, por ejemplo, un arreglo de panal de abeja o agregar un canal en todo el perímetro o bien solo parcialmente en la parte plana de la pieza.

Para lograr lo anterior, la simulación de moldeo utilizando algún software es de gran ayuda en los diferentes sectores de aplicación, como en el de la tecnología donde se diseñó un molde para inyección para fabricar la carcasa de una cámara con la ayuda de Moldflow® para el diseño y optimización del mismo [13] en la industria de las computadoras para mejorar la deformación de una parte plástica de una RAM, además, que usaron métodos estadísticos para llegar a una mejor solución [14]; también puede ser utilizado para diseñar las líneas de inyección de plástico y líneas de enfriamiento de un componente automotriz [15], [16], o para diseñar una nueva característica en un molde para la reducción de *scrap* [17].

Lo anterior muestra que el uso de las herramientas de simulación en la etapa de diseño es de gran apoyo para la predicción y por ende la prevención de defectos, y así obtener un producto de alta calidad y asentar que la utilización de diferentes estructuras puede favorecer a la reducción de defectos estéticos, que, a la vez, reduce costos por retrabajos y disminuye la cantidad de *scrap*.

## 1.1 Planteamiento del problema

La industria automotriz está enfrentando actualmente retos importantes desde diferentes ángulos como el energético, el diseño y la usabilidad de las unidades en las grandes ciudades, donde cada empresa que constituye esta gran industria tiene que innovar y mejorar sus productos para la demanda que se tiene en este sector. El presente proyecto se desarrolló en una empresa multinacional con sede en Estados Unidos que dentro de sus actividades de negocio están el diseño, fabricación y distribución de componentes y sistemas mecánicos y electrónicos para el sector automotriz. Esta empresa cuenta con una gran variedad de productos desde conectores hasta centrales eléctricas. Las centrales eléctricas son un producto que puede ir en un lugar visible del automóvil o no, dependiendo de las funciones que se requieren controlar; donde las cubiertas de dichas centrales deben verse en términos de estética adecuados a los requerimientos del cliente; sin embargo, se han reportado problemas de *sink marks* en la cubierta, los cuales son considerados por el cliente como problemas de calidad, ya que afectan la estética del producto final. Este proceso se desarrolla en jornadas de trabajo de 20.4 horas, y una capacidad del molde de 85% donde se produce la cubierta. Con este tiempo y capacidad del molde se deben fabricar un promedio de 2229 piezas a un ciclo de 32 segundos, de las cuales se reportaron el 100% de las piezas con *sink marks*. Esto representa pérdidas económicas y quejas del cliente.

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo general

Optimizar el diseño de un componente automotriz para disminución de *sink marks* con Moldflow® y mejorar la calidad del producto.

### 1.2.2 Objetivos particulares

- Medir la profundidad de las *sink marks* en piezas físicas.
- Identificar errores de diseño en el modelo 3D de la pieza con el software NX.
- Preparar geometría usando el software NX, esto quiere decir, quitar redondeos y características de la pieza que no son relevantes para un análisis de flujo de plástico.
- Investigar el proceso del moldeo con el que se moldea la pieza en la planta.
- Obtener el modelo 3D del moldeo para extraer líneas de enfriamiento y de inyección.
- Simular con ayuda de Moldflow® para tener referencias de como se está moldeando la pieza en la realidad, usando los mismos parámetros con los que se está moldeando en la planta.
- Rediseñar con NX la cubierta modificando costillas, incorporando estructuras tipos *honeycomb* y *groove* en la pieza.
- Comprobar que los cambios propuestos en el diseño no aumenten el *warpage* de la cubierta y mejoren la calidad de la pieza.

### 1.3 Hipótesis

Optimizando el diseño de la cubierta de una central eléctrica disminuiré las *sink marks* y como consecuencia mejorará la calidad y apariencia estética de las piezas.

### 1.4 Justificación

Actualmente, en industria de la manufactura el tema de calidad es imprescindible y determinante para demostrar la competitividad y son más las empresas que diariamente

rigen los procesos de su cadena de suministros bajo la mejora continua y altos estándares de calidad.

Una empresa multinacional fabricante de partes automotrices más grande del mundo y uno de los empleadores privados más grandes de México, con casi 67.000 empleados en cerca de 40 ciudades sostiene estrictos estándares de calidad, ya que cuenta con clientes importantes del sector automotriz y es indispensable para la empresa contar con un producto libre de defectos de calidad.

Dicha empresa presenta el problema de *sink marks* en la cubierta de una central eléctrica, la cual es moldeada por inyección de plástico y que se producen en una de las plantas de esta gran corporación, generándose quejas de cliente por un producto con defectos estéticos para automóviles de gama alta, además del aumento de *scrap* por el rechazo de piezas que presentan *sink marks* y pérdidas de tiempo y dinero por retrabajos en moldes por diseños faltos de análisis.

Con este proyecto se buscó identificar una geometría que ayude a la disminución o eliminación de *sink marks* en la cubierta de una central eléctrica por medio de la simulación y que dicha geometría se presente como una solución viable para futuros diseños.

### **1.5 Alcance y delimitación**

El presente proyecto se realizó en el Centro Técnico de una empresa multinacional en Ciudad Juárez, Chihuahua, específicamente en el departamento de diseño mecánico encargado del diseño de centrales eléctricas donde se realizan modelos 3D, planos y

análisis de tolerancias para el buen funcionamiento del producto; entre los meses de diciembre 2019 a mayo 2020.

Los análisis de resultados se llevaron a cabo en software de simulación, ya que para la comprobación en piezas reales es un proceso que se necesita más tiempo y aprobación tanto de la empresa como del cliente.

Determina el alcance a una o varias etapas del diseño o del desarrollo, estas pueden ser: propuesta de diseño o de mejora, etapa conceptual o virtual, prototipo, etc.

### **1.6 Cronograma**

En la figura 1.1 y 1.2 se ilustran los cronogramas para la elaboración de este proyecto, desde la materia de Seminario de investigación que se llevó en el semestre de Agosto – Noviembre de 2019 a titulación que se llevó en el semestre de Enero – Mayo 2020. Con las actividades necesarias que se utilizaron para llevar a cabo este proyecto.

Actividad	Agosto				Septiembre				octubre				Noviembre				
	5 al 9	12 al 16	19 al 23	26 al 30	2 al 6	9 al 13	16 al 20	23 al 27	1 al 4	7 al 11	14 al 18	21 al 25	28 al 31	4 al 8	11 al 15	18 al 22	20 al 24
Primera clase																	
Clase de concientización																	
Revisión de literatura																	
Antecedentes																	
Problema																	
Objetivos																	
Hipótesis																	
Justificación																	
Alcance y Delimitación																	
Marco teórico																	
Elaboración de póster para Coloquio																	
Presentación de póster en Coloquio																	
Fin de semestre																	

Figura 1.1 Cronograma Agosto - Noviembre 2019

Actividad	Enero			Febrero			Marzo			Abril			Mayo							
	6 al 10	13 al 17	20 al 24	27 al 31	3 al 7	10 al 14	17 al 21	24 al 28	2 al 6	9 al 13	16 al 20	23 al 27	30-31	1 al 3	6 al 10	13 al 17	20 al 24	27 al 30	4 al 8	11 al 15
Actividad																				
Medición piezas físicas																				
Identificación de errores																				
Preparación de geometría																				
Investigar parámetros																				
Obtención de molde 3D																				
Simulación actual diseño																				
Vacaciones																				
Rediseño de pieza																				
Simulación de piezas rediseñadas																				
Documentación																				

Figura 1.2 Cronograma Enero - Mayo 2020

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Introducción**

En este capítulo se presentan los temas como la importancia de la industria automotriz, los plásticos en la industria automotriz, procesos de conformados de plásticos, la manufactura asistida por computadora, así como también una breve explicación del proceso de liberación de diseños de la empresa donde se llevó a cabo este proyecto de investigación.

### **2.2 Industria automotriz**

Desde la antigüedad el hombre ha tenido la necesidad de adaptarse a su entorno' empezando con la obtención de recursos y aprovechamiento de ellos, de ahí llega el comercio para intercambio de bienes como la materia prima o productos elaborados, en la actualidad no estamos muy alejados de nuestros antepasados, seguimos produciendo y comercializando una gran variedad de productos, he aquí la importancia de la industria [18].

La industria como lo define el diccionario de la Real Academia Española es el “conjunto de operaciones materiales ejecutadas para la obtención, transformación o transporte de uno o varios productos naturales” [19], que pueden ser manufacturados para diferentes sectores como pueden ser, la industria textil, la industria agrícola, la industria automotriz, entre otros.

Una de las industrias que ha destacado en nuestro país, es la industria automotriz que se encuentra solo un paso detrás de la industria alimentaria, ya que no solo se enfoca

en la compra - venta de automóviles, sino también en producción y fabricación de productos para los mismos, así como la generación de materia primas [20].

### **2.3 Los plásticos en la industria automotriz**

La industria automotriz utiliza una gran variedad de materiales para la construcción de un automóvil, donde se incluyen varios metales, plásticos, caucho, fluidos, cristal entre otros materiales. Todos estos materiales son utilizados para crear desde un pequeño botón en el tablero hasta bloques del motor.

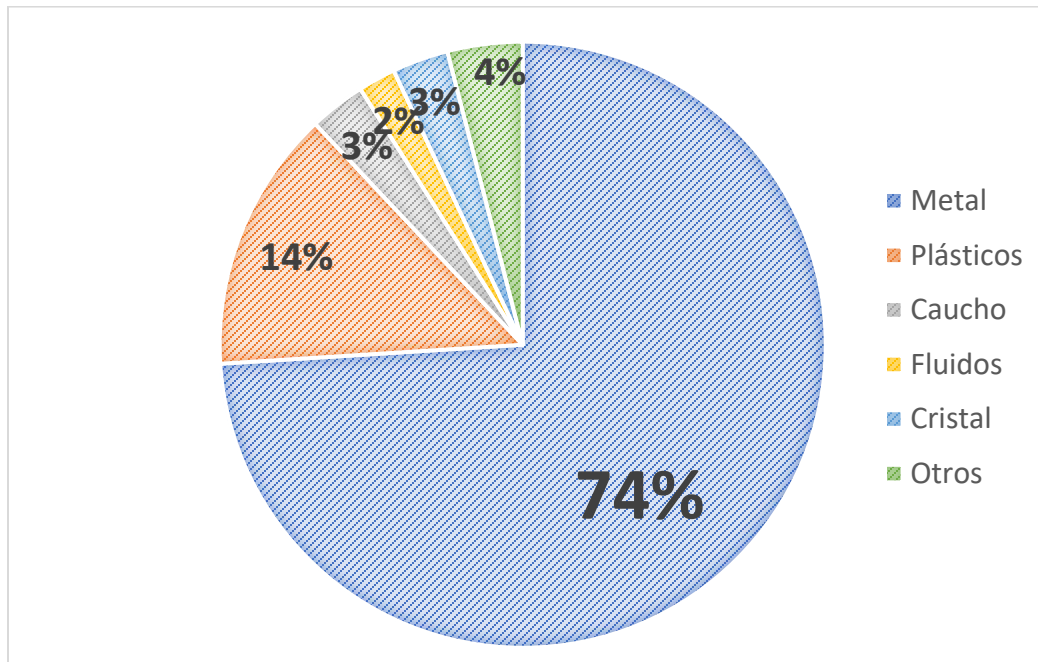
Pero ¿Cuál es la importancia de los plásticos en la industria automotriz?, en la figura 2.1 se muestra una gráfica circular del porcentaje del peso de los distintos materiales que se usan para la fabricación de un automóvil, los plásticos es el segundo componente más empleado con un 14% [21].

Los plásticos son utilizados en interruptores, manijas, empaques, centrales eléctricas, rejillas de ventilación, tapetes, entre otros. Se utiliza mayormente por su larga vida útil, se le puede moldear en una gran variedad de formas y baratos [22].

El material que constituye un automóvil en un 74% de su peso, es el metal. Con metal se hacen las puertas, la mayor parte de la carrocería, un auto puede contener 1350 kilogramos de acero [22].

El caucho, se encuentra principalmente en las llanta, de ahí su importancia, ya que el 75% de producción mundial de caucho está destinada a la fabricación de llantas Las llantas de los autos están hechas con este material, de ahí su importancia; también se elaboran sellos, bandas, mangueras, molduras y limpiaparabrisas [22].

Uno de los menos usados es el cristal, pero no menos importante. El principal uso del cristal es para los parabrisas y ventanas [22].



*Figura 2.1 Materiales utilizados para la fabricación de un automóvil.*

#### **2.4 Procesos de conformado para plásticos**

Hay una gran diversidad de productos que pueden fabricarse con plásticos, como una variedad de piezas moldeadas de diferente complejidad, recubrimientos para aislar, hojas y fibras textiles. Así mismo, los plásticos se usan como aditivos principales para componer otros materiales como adhesivos, pinturas y barnices [23].

Se pueden identificar varias ventajas de los procesos de conformados de plásticos:

- Se permite una amplia variedad de formas geométricas en las piezas a fabricar por la diversidad de procesos de conformado para los plásticos [23].

- El moldeo se utiliza como principal proceso, porque por lo general no se necesita un paso adicional para la formación de una pieza. Se requiere menos energía para conformar plásticos a comparación que los metales porque las temperaturas de procesamiento son menores [23].
- Se simplifica el manejo del producto durante su producción debido a que se utilizan temperaturas menores, generalmente las piezas plásticas se hacen en operaciones de un solo paso [23].
- No se requiere dar a los plásticos acabados con pintura o recubrimientos [23].

Los diferentes procesos para el conformado de plásticos son los siguientes:

Extrusión: usado para hacer piezas con secciones transversales continuas, sólidas o huecas y complejas; proceso usado para producción de alta capacidad; bajo costo para la herramienta y da margen para tener tolerancias amplias [24].

Moldeo por inyección: Este proceso da facilidad para fabricar formar complejas de diversos tamaños, aunque su herramental es costoso es el más usado por su precisión dimensional y su uso para producción de alto volumen [24].

Moldeo de espuma estructural: moldea piezas grandes con rigidez proporcional a su peso, el herramental es menos costoso que el de moldeo por inyección y su uso es para capacidades bajas de producción [24].

Moldeo por soplado: Se hacen partes huecas de pared delgada y botellas; usando para altas capacidades de producción; y el herramental es de bajo costo relativamente [24].

Rotomoldeo: se usa para piezas grandes, huecas, de formas simples, tiene la capacidad para producción de bajo volumen y costo herramental relativamente bajo [24].

Termoformado: forma piezas huecas y/ profundas, proceso usado para producción de media capacidad; bajo costo para la herramienta [24].

Moldeo por compresión: Piezas similares al forjado de matriz, proceso usado para producción de media capacidad; alto costo para la herramienta [24].

Moldeo por transferencia: Piezas más complicadas que las de moldeo por compresión; producción de alta capacidad, herramienta de alto costo, pero este proceso genera pérdidas por *scrap* [24].

Fundición: forma piezas simples fabricadas con moldes rígidos o flexibles, proceso usado para producción de baja capacidad; bajo costo para la herramienta [24].

En general, la calidad de una pieza moldeada por inyección está determinada por muchos parámetros y variables de diseño, como la resina de polímero, las formas de las piezas, el molde y las condiciones del proceso, por nombrar algunos. Es muy difícil obtener los valores óptimos de las variables de diseño para obtener la mejor calidad, ya que una gran cantidad de variables de diseño se caracterizan por comportamientos no lineales acoplados. Incluso bajo el mismo proceso y entornos ambientales, los productos moldeados por inyección pueden mostrar desviaciones de calidad entre los ciclos de disparo, debido a muchos factores incontrolables [8].

## **2.5 Defectos en el moldeo por inyección**

El moldeo por inyección es un proceso complicado, y son muchas las cosas que pueden salir mal. A continuación, se mencionan defectos comunes de las piezas moldeadas por inyección:

Disparos cortos: “Igual que en el fundido, un disparo corto es un moldeo que se solidifica antes de que la cavidad se llene por completo. El defecto se corrige si se incrementa la temperatura y/o la presión. El defecto también surge por el uso de una máquina con capacidad de disparo insuficiente, caso en el que es necesario un aparato más grande” [23].

Rebabas: “Las salpicaduras ocurren cuando el polímero fundido se escurre por la superficie de separación, entre las placas del molde; también sucede alrededor de los pasadores de inyección, figura 2.2. Por lo general, el defecto lo ocasionan 1) conductos y claros demasiado grandes en el molde, 2) presión de inyección demasiado alta en comparación con la fuerza de sujeción, 3) temperatura de fusión demasiado elevada o 4) tamaño excesivo del disparo” [23].



*Figura 2.2 Rebabas*

*Sink Marks:* “Éstos son defectos que por lo general se relacionan con secciones moldeadas gruesas, figura 2.3. Una marca de hundimiento ocurre cuando la superficie exterior del molde se solidifica, pero la contracción del material del interior hace que la capa se reduzca por debajo del perfil que se planeaba. Un vacío es ocasionado por el mismo fenómeno básico; sin embargo, el material de la superficie conserva su forma y

la contracción se manifiesta como un vacío interno debido a fuerzas de tensión grandes sobre el polímero que aún está fundido. Estos defectos se eliminan con el incremento de la presión de compactación posterior a la inyección. Una mejor solución consiste en diseñar la pieza para tener espesor uniforme de la sección, y utilizar secciones más delgadas” [23].



*Figura 2.3 Sink marks*

Líneas de soldadura: “Las líneas de soldadura ocurren cuando el polímero fundido fluye alrededor de un núcleo o de otro detalle convexo en la cavidad del molde, y se encuentra desde direcciones opuestas; la frontera así formada se denomina línea de soldadura, y tiene propiedades mecánicas inferiores a las del resto de la pieza, figura 2.4. Las formas de eliminar este defecto son las temperaturas de fundición más altas, presiones de inyección mayores, ubicaciones alternativas de la puerta de la pieza y mejores conductos” [23].



*Figura 2.4 Líneas de soldadura*

## 2.6 Manufactura asistida por computadora

Actualmente la ingeniería cuenta con softwares especializados para el desarrollo de nuevos productos, como herramientas para el diseño asistido por computadora (CAD, por sus siglas en inglés) para crear modelos en 3D de diferentes productos y/o crear planos de diseño [24].

Después de haber creado en 3D algún producto, pieza, componente en particular, se somete a otras tecnologías conocidas como CAE (*Computer Aided Engineering* o Ingeniería Asistida por computadora), en esta fase se pueden evaluar deformaciones, esfuerzos, análisis de vibración, tolerancias dimensionales, análisis térmicos o análisis de flujo de plástico, engloba toda una serie de sistemas que asiste a los responsables del desarrollo de un producto a realizar desde análisis sencillos hasta de lo más complejos. Estos softwares nos ayudan a crear modelos que son representaciones simplificadas de un proceso real, sin embargo, solo nos ayuda a comprender variables relevantes y descarta aquellas que no alteran el sistema significativamente para que el modelo no se torne complejo [24], [25].

En el presente y con la existencia de diferentes softwares tipo CAE, los diseñadores se ven cada vez más involucrados en los análisis necesarios para liberar un diseño a producción. Pero en muchos casos, será necesario pruebas físicas de piezas o del producto para determinar los efectos reales de cargas, temperatura y otras variables en los componentes diseñados ya que pueden existir análisis demasiados complejos que la computadora no será capaz de resolver [24].

La simulación de flujo de moldeo ayuda a los diseñadores a ver cómo resultarán sus diseños sin necesidad de realizar el proceso de moldeo por inyección. El uso de la

simulación ahorra tiempo y reducen los costos del diseño. La simulación desempeña un papel importante en el análisis del resultado del diseño ya que elimina eficazmente el uso de prueba y error, validando y optimizando el diseño de plástico antes de la producción. Esto no solo mejora la calidad, sino también nos ayuda a orientar sobre la selección de máquinas y la planificación de la producción [26].

Como se ha explicado anteriormente la ingeniería asistida por computadora puede darnos una predicción del comportamiento de un producto en la vida real, la mayoría de las veces mostrando el peor de los casos y puede ser usada en diferentes áreas, como, por ejemplo, el moldeo:

- Con un software de simulación el autor del siguiente artículo busca la optimización de los parámetros del proceso para el moldeo por inyección de plástico. Se abordan las características, ventajas, desventajas y alcance de aplicación de todos los enfoques de optimización comunes. Además, se proponen dos marcos generales para la optimización basada en la simulación del parámetro del proceso de moldeo por inyección, incluida la optimización directa y la optimización del metamodelado [27].
- En el 2015 los siguientes autores, tuvieron la siguiente problemática, depresiones formadas en piezas de plástico moldeadas que son inaceptables en el proceso de aprobación. El problema que surgió lo resolvieron en dos fases. La primera fase consistió en la alteración del diseño del molde de inyección: ampliación de la compuerta de moldeo por inyección. En la segunda fase, cambiaron la ubicación de la compuerta de moldeo por inyección. Aunque no pudieron mejorar la calidad de una pieza de plástico moldeada modificando los parámetros de inyección y un

molde de inyección decidieron cambiar la ubicación de la compuerta de moldeo por inyección. Esta modificación les permitió colocar más material derretido en la cavidad durante el mismo tiempo y la parte plástica moldeada no se deformaba por la alta presión posterior. Además, lograron acortar todo el ciclo de inyección, lo que tiene una influencia positiva [28].

- Otros autores con ayuda de softwares de moldeo investigaron un modelo matemático recientemente propuesto de reología de suspensión de fibra, que considera la difusión de fibra anisotrópica y la interacción fibra-matriz desde un punto de vista microscópico, logrando crear El nuevo modelo demostró ser capaz de predecir muchos detalles de la distribución de orientación de la fibra y podría aplicarse ventajosamente como parte de los procesos de desarrollo de productos y fabricación [29].
- La simulación del moldeo de productos poliméricos es altamente conocida, pero los materiales compuestos tienen un papel cada vez más importante en la industria en general, pero la inyección de moldeo de materiales compuestos es un problema relativamente nuevo, innovador, no es muy común la combinación de materiales. Por lo tanto, se analizaron parámetros de entrada, como temperatura, inyector de presión, gráficos de temperatura. Una parte importante del análisis fue analizar la propagación del material dentro del molde durante la inyección, de modo que permitiera determinar la forma y la existencia de posibles imperfecciones y ubicaciones de las trampas de aire, todo esto con el propósito de seleccionar el material compuesto apropiado para inyección [30].

- Como se explicó anteriormente, la simulación del moldeo puede ser usado en cualquier industria, tal como en la industria de los juguetes, donde se analizó y estudió para resolver los problemas de rechazos frecuentes debido a la contracción, trampas de aire, *weld lines*, y *sink marks* de un bloque de construcción de juguete [26].

Los ejemplos anteriores nos dan una visión de lo que se puede lograr con un software de simulación de flujo de plástico, específicamente de un proceso de moldeo por inyección. Pero, la simulación no solo queda en eso, como se mencionó, la ingeniería asistida por computadora también nos ayuda a examinar esfuerzos, deformaciones, deflexiones, vibraciones, etc. del producto, simulando el entorno donde será usado. Tal como:

- Con el uso de Ansys en la industria automotriz se puede lograr establecer la frecuencia natural y la característica de forma del modo corresponde a la frecuencia natural de la estructura del chasis de un auto de carreras para garantizar que la comodidad de conducción esté más allá del rango de frecuencia poco saludable. El resultado del estudio se puede utilizar para estudiar el comportamiento dinámico e improvisar la respuesta dinámica general de la estructura del chasis [31].
- Se presenta un nuevo enfoque para construir modelos de celda unitaria heterogénea basada en CAD y para demostrar la aplicabilidad de las tecnologías asistidas por computadora en el diseño y fabricación de materiales compuestos. En la construcción del modelado, se desarrolla un algoritmo de operación booleana de razonamiento para manipular elementos topológicos de matriz y de

matriz y para construir celdas de unidades compuestas heterogéneas y se demuestra la implementación del modelo de celdas unitarias desarrollado con el software CAD / CAE / CAM disponible para el análisis de elementos pequeños y el cálculo numérico para el esfuerzo y la deformación en las celdas unitarias y en los componentes [32].

- Una de las medidas importantes para mejorar la economía de combustible es disminuir el peso del vehículo. El material de aleación de aluminio tiene un punto débil en comparación con el material de acero en resistencia para el ciclo de vida. En este estudio, se utilizó la ingeniería asistida por computadora (CAE) se realizó con 9 parámetros de diseño y 2 niveles. para diseñar un componente de chasis más liviano y confiable usando material de aluminio en comparación con los componentes de chasis de acero existentes [33].

Las herramientas de CAE tienen un amplio panorama de utilidad; pueden ayudar desde la elaboración de proyectos desde el inicio del negocio hasta la optimización de un producto en existencia.

El siguiente autor nos muestra con el fin de reducir considerablemente el tiempo y los costos generales asociados con el proceso de diseño, se ha observado ampliamente que la consistencia de datos y una plataforma de software unificada desempeñan un papel vital en el diseño integrado CAD / CAE. Y propone un nuevo mecanismo de modelado denominado CADWE (diseño asistido por computadora mientras se trabaja en ingeniería) para fusionar las aplicaciones CAD y CAE en un patrón unificado. Las ventajas son que no solo se puede evitar una gran cantidad de tareas de duplicación, errores humanos en operaciones de simplificación complejas e intercambios de datos

incompatibles, sino que también el desarrollo de software es prescindible para mantener la integración y la propagación de cambios. Además, el método CADWE se ha aplicado con éxito en el desarrollo de grúas torre con pluma abatible de 1600 toneladas-metro y la eficiencia del diseño se ha mejorado notablemente [34].

## 2.7 ¿Cómo se usa la manufactura asistida por computadora en la industria automotriz?

En la empresa donde se elaboró este proyecto se sigue una metodología para la liberación de cualquier diseño, haciendo uso de las herramientas CAD/CAE.

Todo problema de ingeniería que puede llegarse a solucionar por medio de un cambio en el diseño de un componente o varios debe ser aprobado por cada equipo involucrado para su fabricación, en la figura 2.5 se ilustra cuáles son los equipos involucrados para lograr un diseño robusto, que, teóricamente funciona.

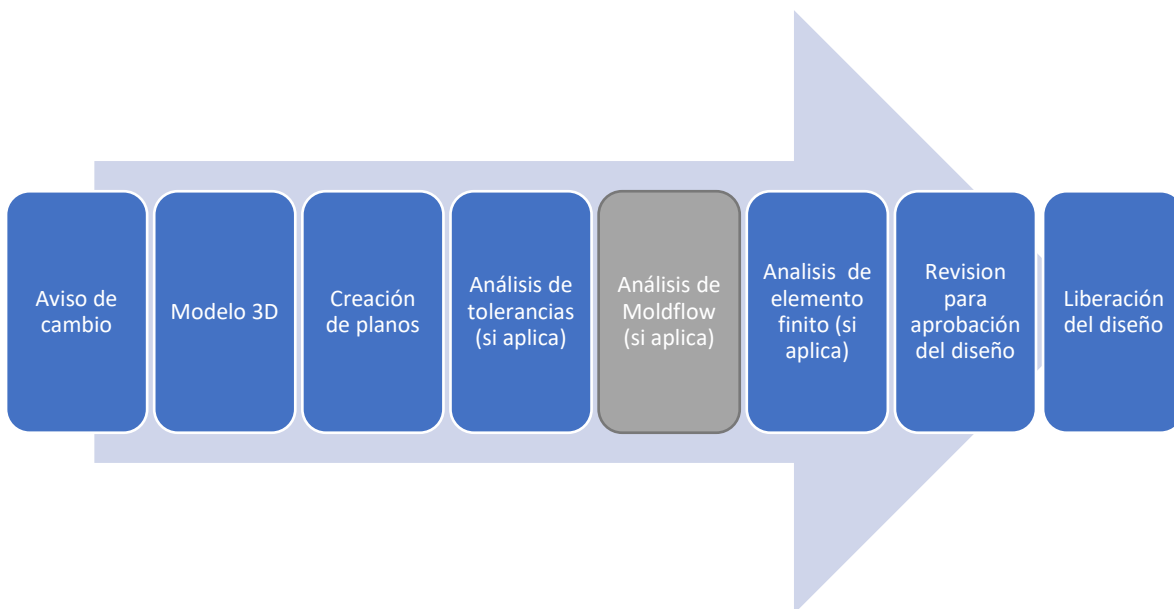


Figura 2.5 Equipos involucrados para lograr un diseño robusto

**Aviso de cambio** es una orden de trabajo donde se solicita un cambio en algún componente, especificando, si es un componente para prototipo o producción. Este aviso de cambio debe contener la información con el problema que se está generando con dicho componente, para poder realizar una propuesta de mejora del diseño

**Modelado 3D** con el software NX, se realizan los modelos con los cambios de ingeniería a un componente a causa de un problema que se esté generando y pueda ser solucionado por medio de un cambio en el diseño.

**Creación de planos** se crean los dibujos en 2D del componente a cambiar, dimensionando las características de la pieza e incorporando tolerancias geométricas y dimensionales las características necesarias para su fabricación.

**Análisis de tolerancias** si el cambio que se realiza esta cerca de otro componente es necesario hacer análisis de acumulación de tolerancias para asegurar que las piezas ensamblarán.

**Análisis de Moldflow®**, otro análisis necesario para aprobar un cambio de ingeniería es pasar por un análisis de flujo de plástico, para saber si el cambio es factible, en esta fase se concentra este proyecto, el método se explicará más adelante.

**Análisis de elemento finito**, si el cambio de ingeniería requiere un análisis de este tipo, pasa al equipo de analistas para su revisión, para predecir esfuerzos y desplazamientos en el sistema mecánico.

**Revisión para aprobación del diseño**, en esta fase el ingeniero responsable del cambio debe tener toda la información recabada en el proceso de diseño, resultados y aprobaciones de todos los equipos involucrados para lograr un diseño robusto.

Por último, si se aprueba el diseño pasa a **liberarse** para realizar el cambio en el molde.

### 3. METODOLOGÍA

Como se mencionó anteriormente este proyecto se enfoca en un cambio de ingeniería para la eliminación de *sink marks* en una cubierta de una central eléctrica y el único análisis que se necesitara para su aprobación es un análisis de Moldflow®, el proceso de optimización de un componente con problemas de moldeo se describe en la figura 3.1:

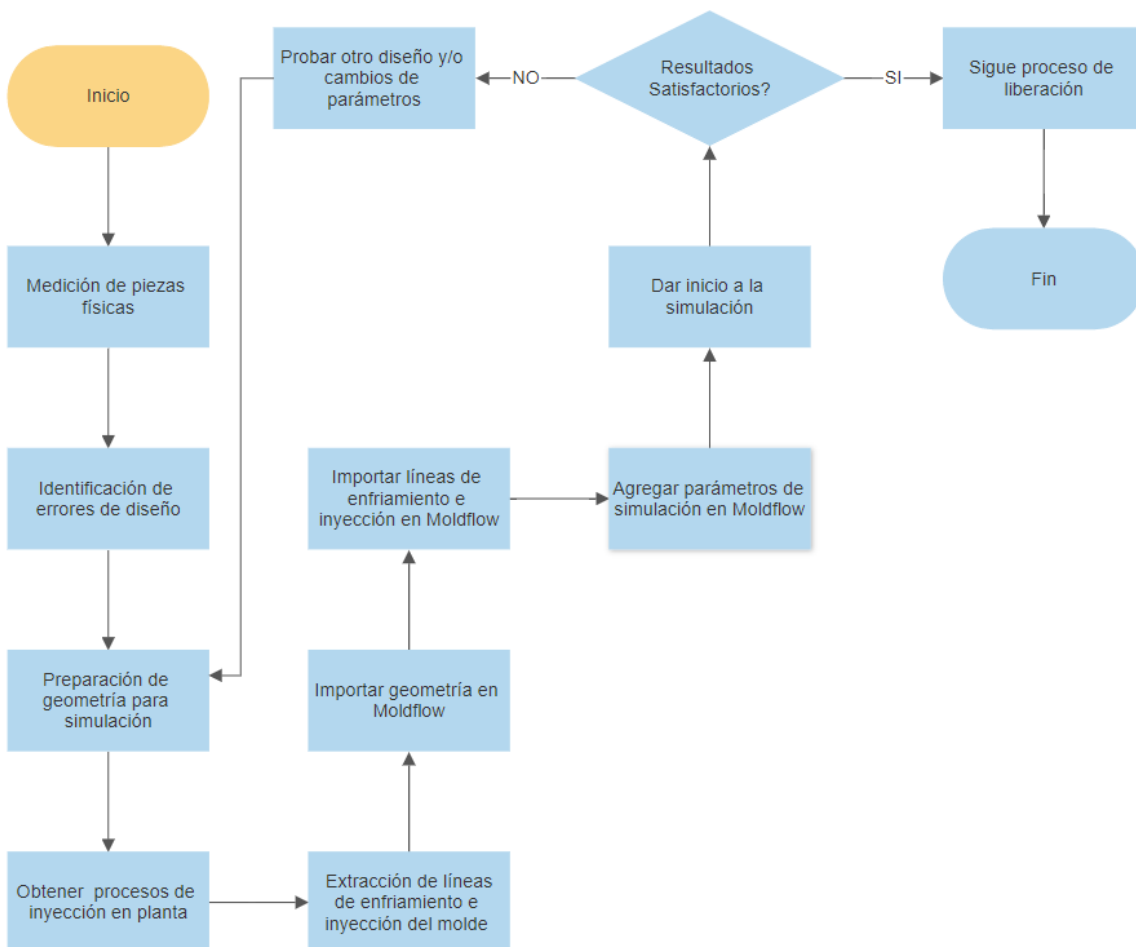


Figura 3.1 Diagrama de flujo de metodología de proyecto

### 3.1 Medición de piezas físicas

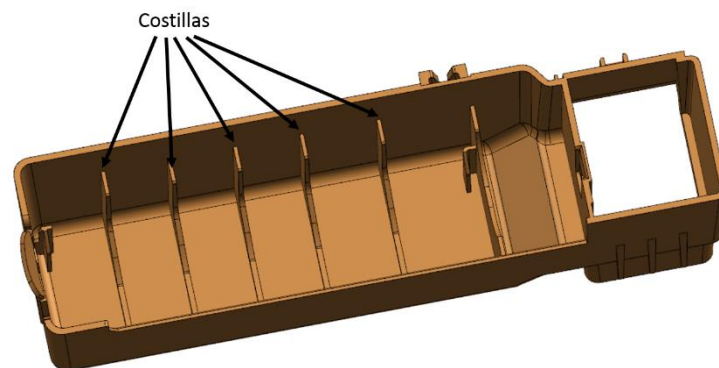
Se obtuvieron dos piezas moldeadas de planta y se mandaron a medir al laboratorio de metrología de la empresa, en la figura 3.2 se pueden apreciar *sink marks*, las cuales serán medidas.



*Figura 3.2 Fotos de cubierta de central eléctrica con sink marks*

### 3.2 Identificación de errores de diseño

En esta sección se requirió la pieza automotriz en 3D y revisar la pieza con en el software NX. Uno de los errores de diseños que pueden provocar *sink marks* es el uso de grosor incorrecto en las costillas, figura 3.3.



*Figura 3.3 Costillas en cubierta de central eléctrica*

De acuerdo a la guía de diseño de plásticos, para el moldeo de costillas en cualquier pieza plástico se recomienda seguir las siguientes instrucciones, figura 3.4 [12]:

- El grosor máximo de la costilla debe ser de 50 a 75% de la pared nominal para evitar crear *sink marks*.
- Para evitar secciones delgadas de acero en su molde, la distancia entre las costillas debe ser al menos dos veces y media el grosor nominal de la pared.
- Las costillas deben tener un ángulo de tiro de al menos medio grados por lado para permitir una expulsión más fácil del molde.
- La altura máxima de la costilla no debe ser mayor que tres veces el grosor nominal de la pared para evitar grandes variaciones en el grosor de la pared.
- Equilibrar las costillas a ambos lados de la pared nominal para evitar una contracción no uniforme que pueda provocar *warpage*.

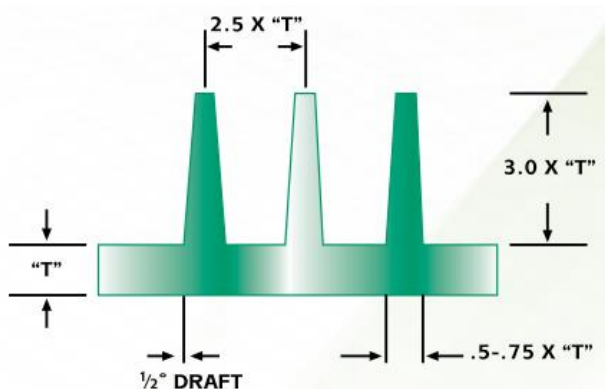


Figura 3.4 Ejemplo de guía para costillas

### 3.3 Preparación de geometría para simulación

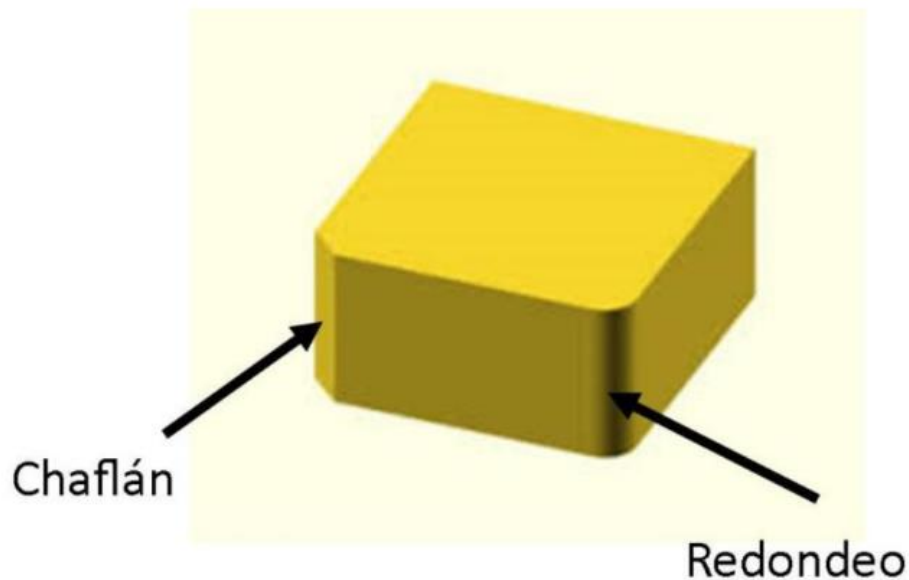
El proceso de creación de los modelos 3D simplificados de la geometría del componente, aunque se puede entender como un paso previo a la propia simulación, es el punto realmente clave de todo el estudio. Un modelo robusto y simple permite generar mallados

de calidad, que reducen considerablemente el tiempo de mallado y permiten obtener resultados más exactos.

### Consideraciones y simplificaciones del modelo

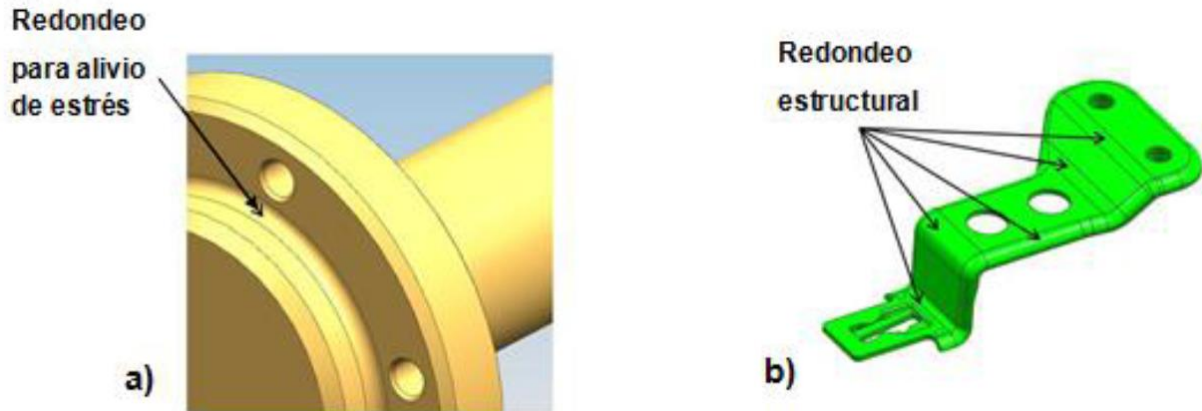
- Quitar textos y logotipos.
- Retirar redondeos menores de 0.4 mm y chaflanes (no quitar características estructurales o de estrés).
- Retirar la geometría adicional que es necesaria para el análisis.
- Retirar características intrínsecas que podrían generar singularidades.

**Redondeado / chaflán:** Es una característica que generalmente se usa para evitar los bordes afilados para propósitos estéticos, figura 3.5.



*Figura 3.5 Características para simplificaciones de geometría (Chaflán/redondeo)*

**Redondeo estructural / chaflán:** Es una característica utilizada para proporcionar rigidez o tensión alivio, figura 3.6.



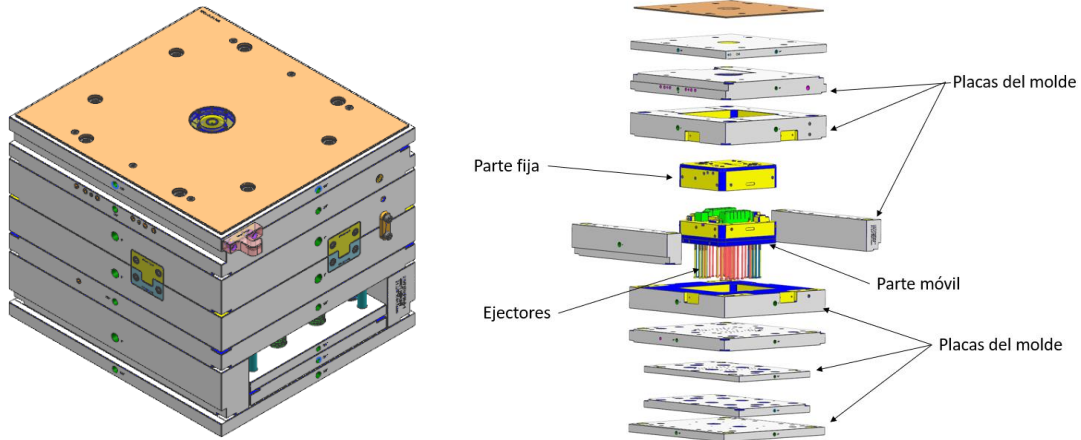
*Figura 3.6 Ejemplo de a) Redondeo para alivio de estrés y b) Redondeo estructural*

**Características intrínsecas:** Características que generan singularidades. Este tipo de características son comunes en geometría sobre moldeada.

### **3.4 Parámetros de proceso de inyección en planta**

Se investigó en planta los parámetros de proceso de inyección de la cubierta, los datos se ingresaron en un formato como el que se muestra en la figura 3.7:





*Figura 3.8 Modelo 3D del molde*

Con ayuda del software de diseño NX, se extraen las líneas de centro de las tuberías por donde corre el agua para el enfriamiento de la pieza, al igual, de las líneas de centro de las tuberías por donde pasa el plástico fundido para el moldeo de la cubierta. Después las líneas se importan al software Moldflow®, para poder dibujar las líneas de enfriamiento y de inyección. De esta manera nos aseguramos, que la simulación se realizará lo más cercano a la realidad.

### **3.6 Simulación del proceso con el diseño actual**

Con la ayuda de Moldflow® se realizó la primera simulación con los datos obtenidos de la hoja de proceso y las líneas de enfriamiento y líneas de inyección obtenidas del molde.

Los resultados esperados de esta simulación son:

- Tiempo de llenado
- Estimación de *sink marks*
- Deflexión general y en cada eje

### **3.7 Rediseño de pieza para evitar *sink marks***

Usando el software para diseño en 3D, NX, se trabajaron las propuestas para la reducción o eliminación de *sink marks* de la pieza. Las propuestas diseñadas con las siguientes, cabe mencionar que todos los cambios son sobre la cubierta actual para evitar la construcción de un nuevo molde:

- Aumento de grosor del piso donde se conectan las costillas.
- Eliminando las costillas que provocan *sink marks*.
- Agregando la estructura en panal de abeja, comúnmente llamado en el área de diseño como "*honey comb*".
- Agregando un canal en el perímetro interno de la pieza

### **3.8 Simulación con piezas rediseñadas**

El análisis virtual iterativo ayuda a optimizar los diseños sin desperdiciar tiempo y dinero en la construcción de molde o arreglos en uno ya existente. Como último paso se simularon las piezas rediseñadas y se compararon los resultados para elegir el diseño óptimo para la disminución y eliminación de *sink marks* sin afectar la deformación de la pieza.

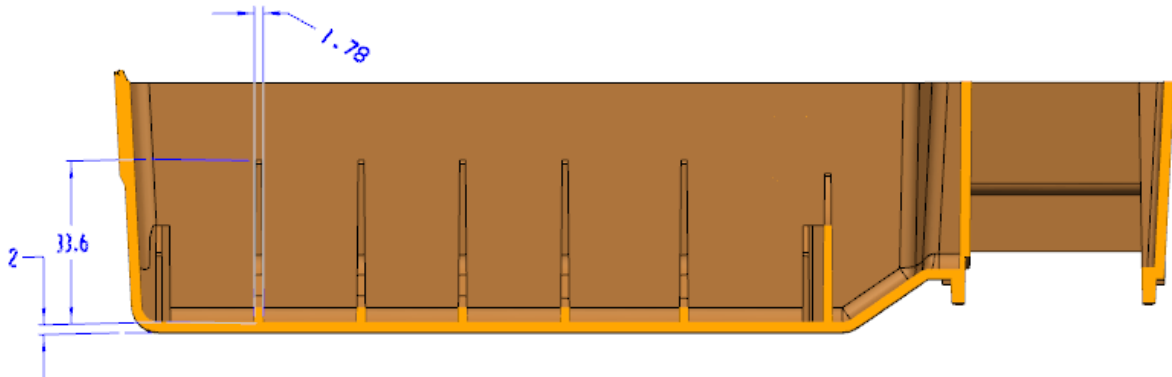
## **4. RESULTADOS**

### **4.1 Medición de piezas físicas**

El laboratorio de metrología entregó el formato que se muestra en la figura 4.1. En la cual se ingresaron los datos tomados de dos piezas moldeadas y cada una con cinco marcas para medir.



las costillas deben tener un grosor en la union con el piso del 50% al 75% del grosor del piso nominal, lo cual los ribs de la cubierta de central electrica deberían de ser de 1 mm a 1.5 mm, el cual es de 1.78 mm, un grosor mayor al recomendando, figura 4.2.

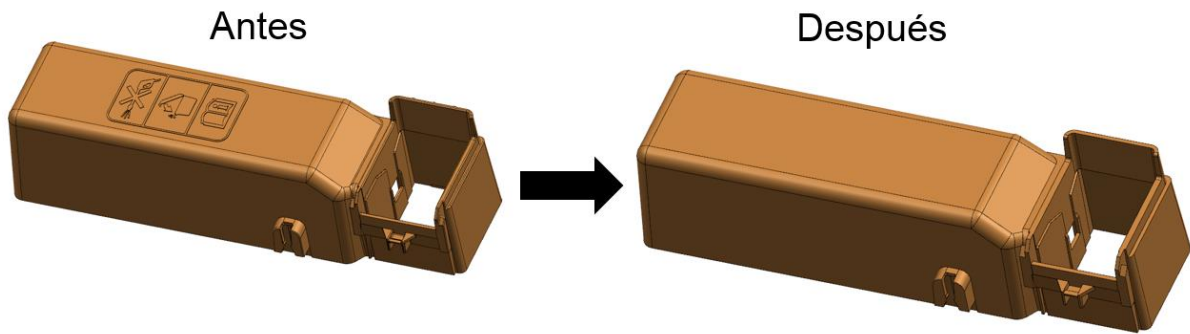


*Figura 4.2 Cubierta de central eléctrica donde se muestra el espesor de costilla de 1.78 mm, el cual es mayor al máximo recomendado de 1.5 mm*

### **4.3 Preparación de geometría para simulación**

Este paso fue el más sencillo, pero no menos importante, ya que la eliminación de características de la pieza no importantes para el análisis nos ayuda a tener un mallado de mayor calidad, lo cual nos puede brindar mejores resultados en menor tiempo.

Con el software NX se eliminaron los redondeos de 0.4 mm o menos y gráficos, como se muestran en la figura 4.3.



*Figura 4.3 Antes y después de la cubierta de la central eléctrica, eliminación de gráficos y redondeos de 0.4 mm o menos*

#### **4.4 Parámetros de proceso de inyección en planta**

Con los datos recabados en planta se llenó el formato de proceso de inyección de plásticos, con la información que se observa en la figura 4.4:



posterior = 419°F, temperatura central = 428°F, temperatura frontal = 437°F y la temperatura del inyector = 464°F.

*Temperatura de fusión*

$$= \frac{\text{Temp. Posterior} + \text{Temp. Central} + \text{Temp. frontal} + \text{Temp. del inyector}}{4}$$

$$\text{Temperatura de fusión} = \frac{419^{\circ}\text{F} + 428^{\circ}\text{F} + 437^{\circ}\text{F} + 464^{\circ}\text{F}}{4} = 437^{\circ}\text{F} = 225^{\circ}\text{C}$$

- Tiempo de apertura del molde: La hoja nos da un tiempo de 11 segundos.
- Tiempo de inyección, empaque y enfriamiento: La hoja de proceso indican que son 2.7 segundos de inyección, 8 segundos de empaque y 30 segundos de enfriamiento, lo cual da un total de 40.7 segundos de tiempo total del proceso de moldeo.
- Presión de inyección: La hoja indica una presión de inyección de 8740 PSI que para uso de Moldflow® debió convertirse a Mega Pascales, que son 60.26 MPa.

#### **4.5 Obtención de modelo 3D del molde para extracción de líneas de agua y de inyección**

Otra información que se necesitó para realizar la simulación más cercana a la realidad fue molde para extraer las líneas de enfriamiento y las líneas de inyección que se muestran en la siguiente figura, se exportaron las líneas del molde y se importaron al software Moldflow® para la simulación, figura 4.5.

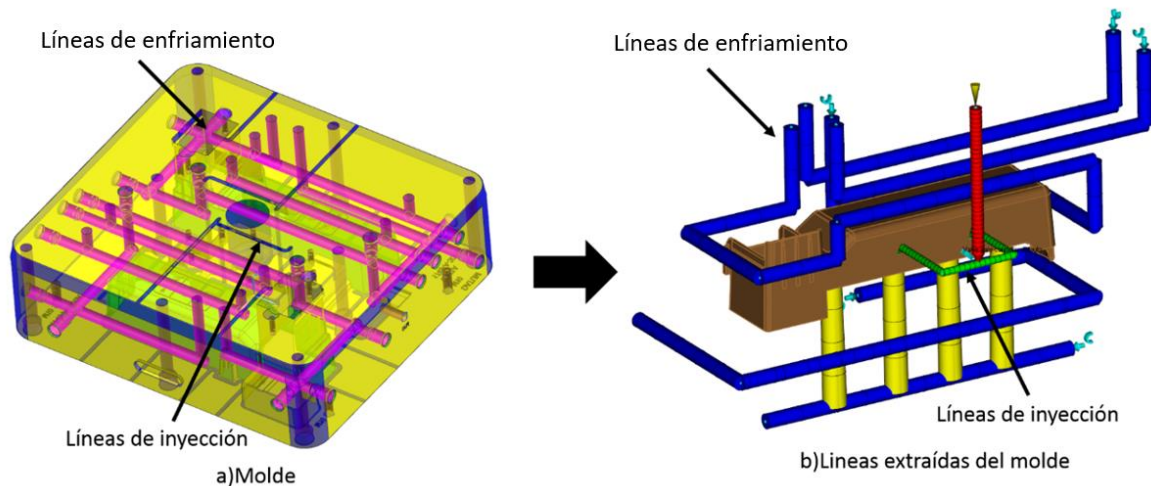
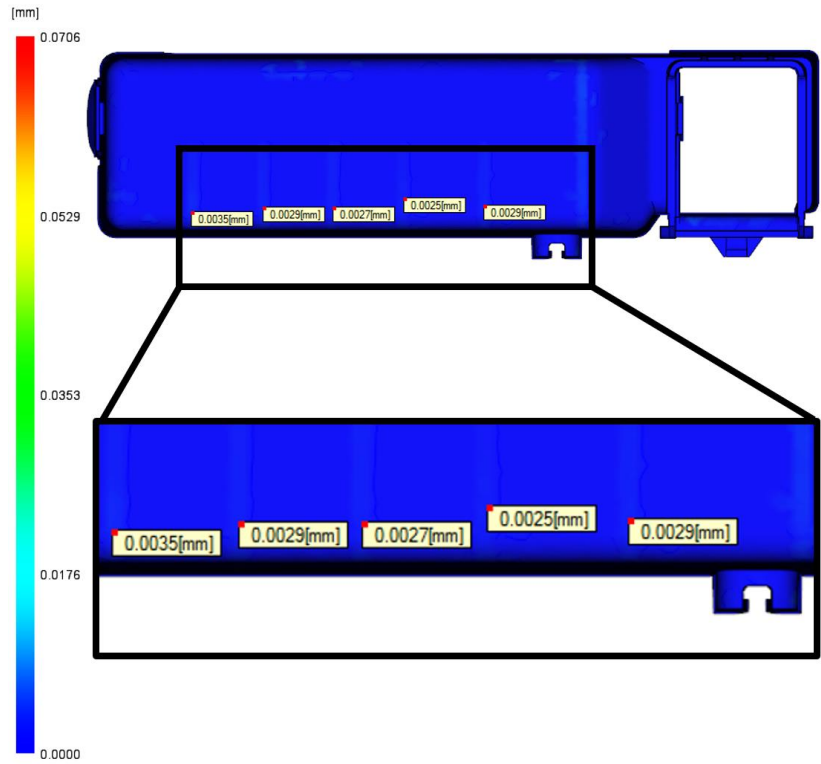


Figura 4.5 a) Vista del molde de líneas de enfriamiento y línea de inyección, b) Líneas extraídas del molde importadas a Moldflow

#### 4.6 Simulación del proceso con el diseño actual

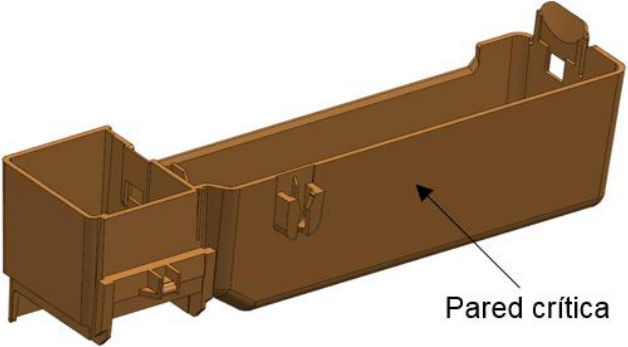
Los análisis necesarios para este proyecto son: Estimado de *sink marks* y *warpage* en general y en cada eje.

En la figura 4.6, podemos ver la estimación de *sink marks* en la cubierta actual y simulado con el proceso con el que se está moldeando en planta, como se puede observar, marca la formación de *sink marks*, con una depresión en el material de 0.0025mm hasta 0.0035 mm.



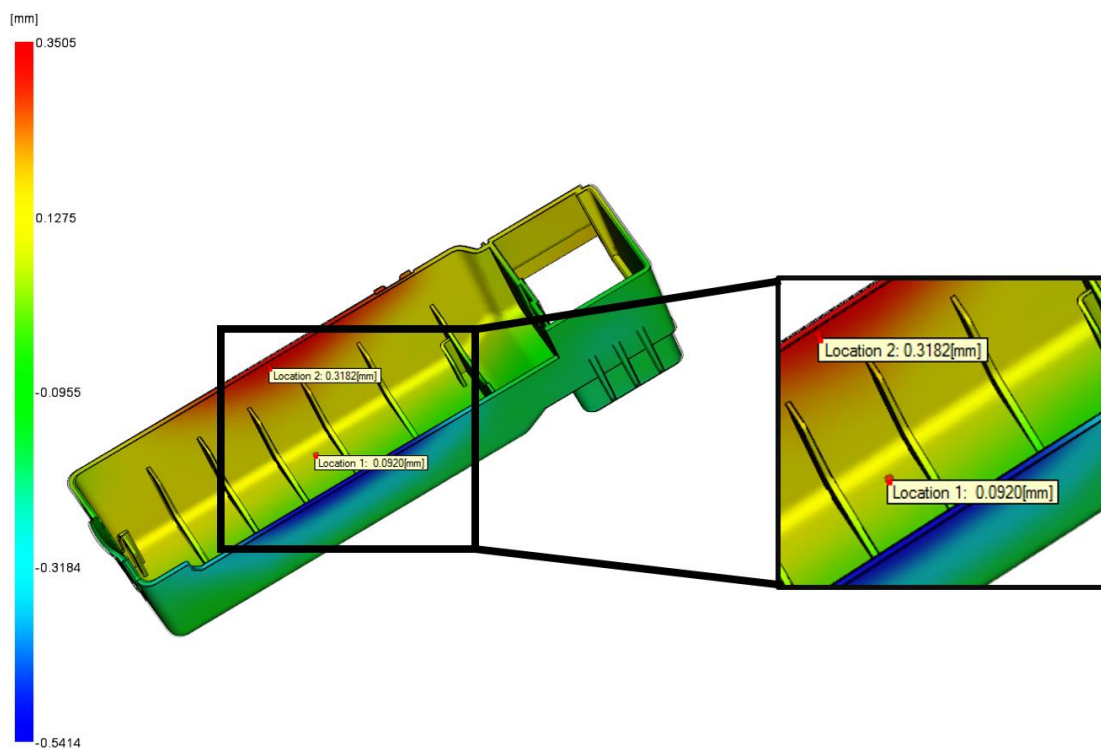
*Figura 4.6 Resultados de la simulación en Moldflow® para la estimación de sink marks en el diseño actual de la cubierta que van desde 0.0025 mm hasta 0.0035 mm.*

Otro resultado necesario para este proyecto es el *warpage* que sufriría la pieza en el eje x en la pared crítica señalada en la figura 4.7, ya que es esa área tiene una contraparte en la cual debe de ser ensamblada.



*Figura 4.7 Cubierta mostrando la pared crítica para el análisis de warpage en el eje x.*

En la figura 4.8, se muestran los resultados de *warpage* en el eje x, en el cual se puede observar una deformación en el punto más alto de la pared crítica de 0.2262 mm, este resultado se obtiene de la diferencia entre un punto en el área roja y un punto lo más cercano al área verde de la misma pared, esto se debe a que el programa te da un promedio de toda el área que aparece en rojo, por eso se debe obtener una diferencia para dar un valor más preciso de la deformación que pudiera existir en el punto de interés.



*Figura 4.8 Resultados de la simulación en Moldflow® para el warpage en el eje X en el diseño actual de la cubierta.*

Teniendo los resultados anteriores como base, nos dirigimos al rediseño de la cubierta, por lo que, nuestro diseño optimizado debería tener resultados menores a los anteriores mostrados.

#### 4.7 Rediseño de pieza para evitar *sink marks*

Como se mencionó en el capítulo anterior, se diseñaron cuatro propuestas la eliminación o disminución de *sink marks*, como resultado se obtuvieron las siguientes cubiertas:

1. Aumento de grosor del piso donde se conectan las costillas, figura 4.9.

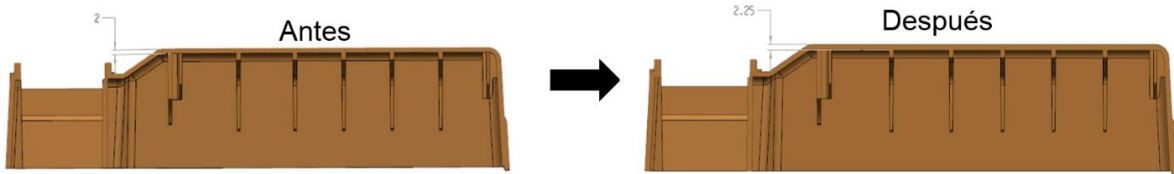


Figura 4.9 Antes y después del aumento de grosor del piso de la cubierta.

2. Eliminando las costillas que provocan *sink marks*, figura 4.10.

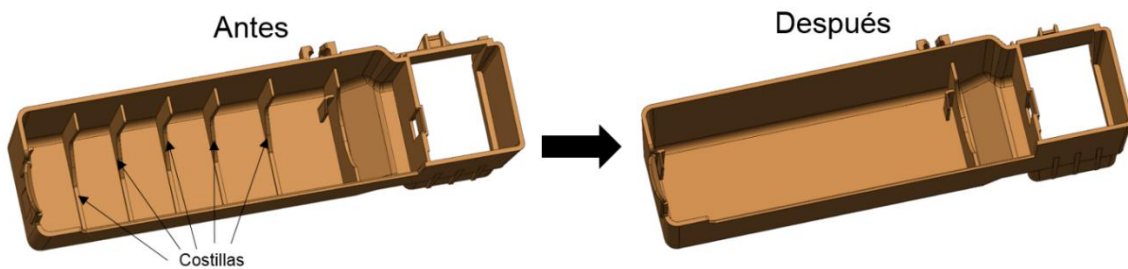


Figura 4.10 Antes y después de eliminar costillas de la cubierta.

3. Eliminando costillas y agregando la estructura en panal de abeja, comúnmente llamado en el área de diseño como "*honey comb*", figura 4.11.

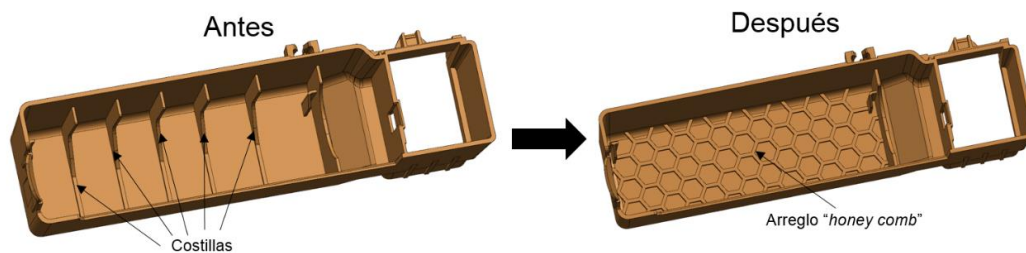


Figura 4.11 Antes y después de eliminar costillas y agregar estructura "*honey comb*" en la cubierta.

4. Eliminando costillas y agregando o un canal en el perímetro interno de la cubierta, en la figura 4.12, se aprecia en donde se coloca el *groove*, y la figura XX se muestra una vista de sección de la forma del canal en la cubierta.

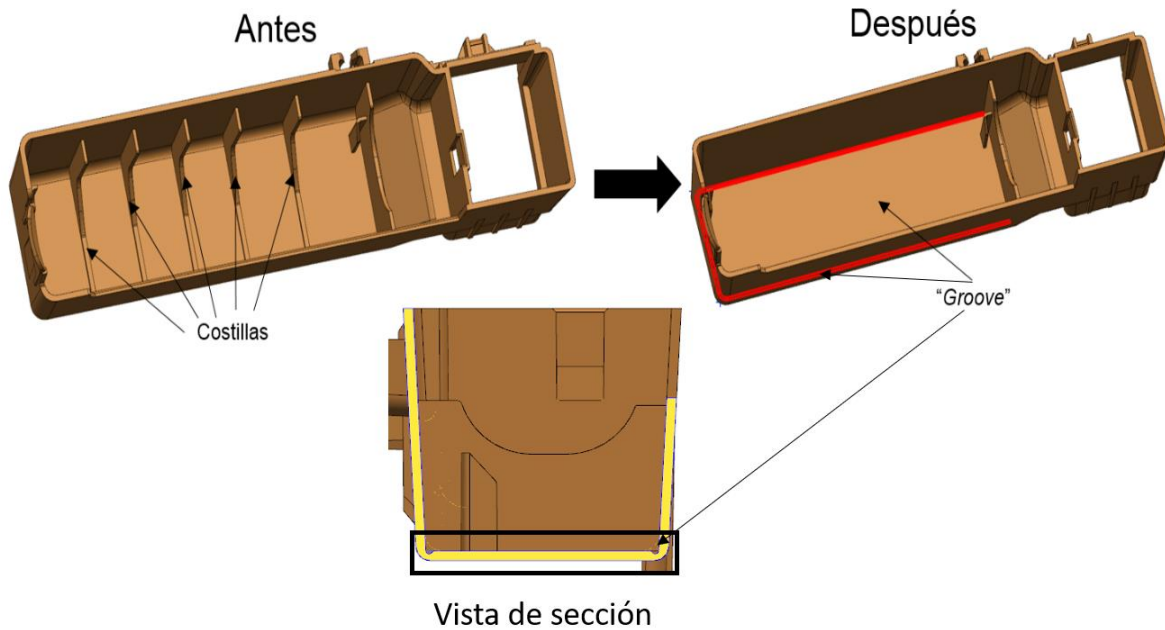


Figura 4.12 Antes y después de eliminar costillas y agregar un "groove" en la cubierta.

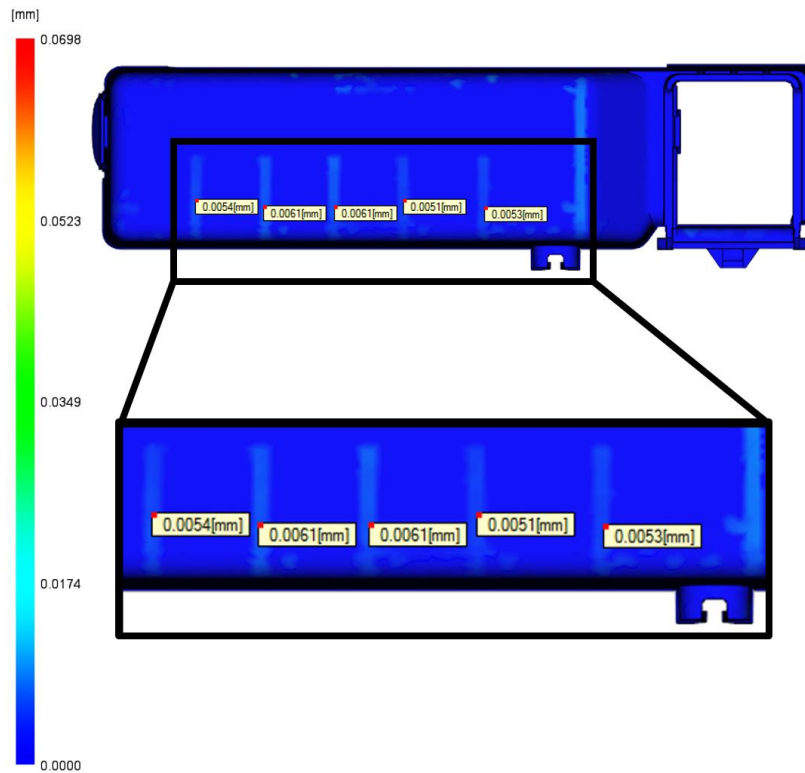
#### 4.8 Simulación con piezas rediseñadas

Con los diseños anteriores se realizaron los análisis de Moldflow®, tanto como la estimación de *sink marks* y *warpage* en el eje x, de la misma manera de cómo se corrieron los análisis para la cubierta con el diseño actual, ya que el proceso, las líneas de enfriamiento y de inyección no se cambiarían.

#### Resultados en cubierta rediseñada con aumento de grosor

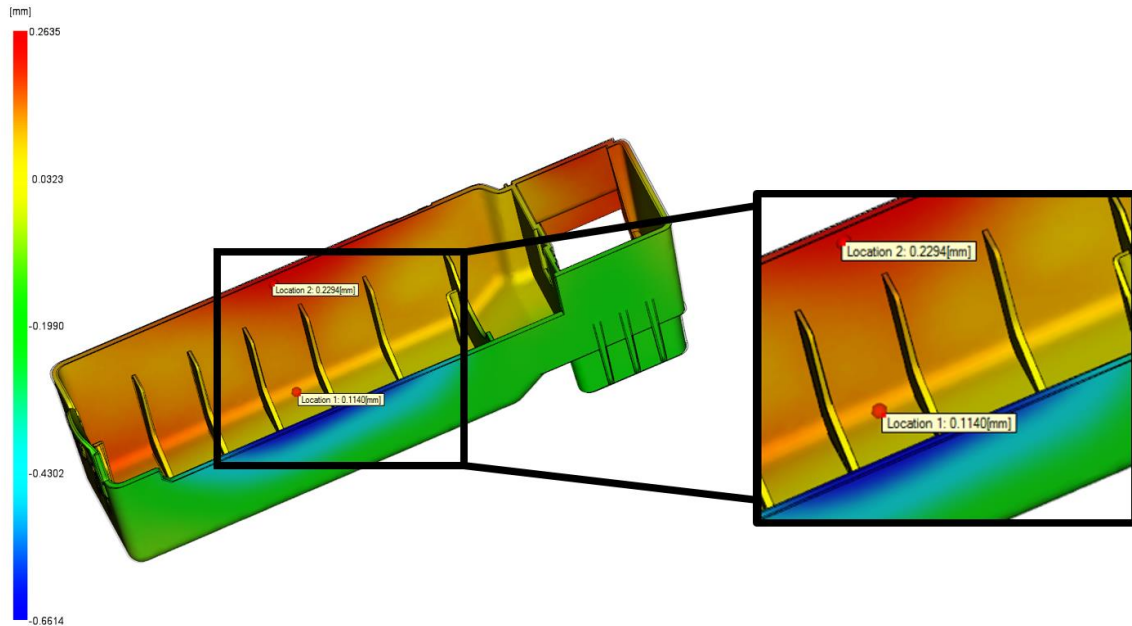
El primer diseño fue el de aumentar el grosor del piso donde se unen las costillas causantes de las *sink marks*, de acuerdo de la teoría, esta podría ser la mejor solución. Pero que el aumento de material no sea constante provoca una mayor presión para el

llenado de la cubierta, provocando que las *sink marks* sean mayores a las que se tienen en la cubierta con el diseño actual. En la figura 4.13, se puede observar que las *sink marks* van desde 0.0051 mm hasta 0.0061 mm, que es casi el doble de lo que se tenía con el diseño actual.



*Figura 4.13 Resultados de la simulación en Moldflow® para la estimación de sink marks con diseño de aumento de grosor en la cubierta que van desde 0.0051 mm hasta 0.0061 mm.*

En la figura 4.14, se muestra los resultados para el warpage, en este análisis si se obtuvo un valor menor, que es de 0.114 mm.

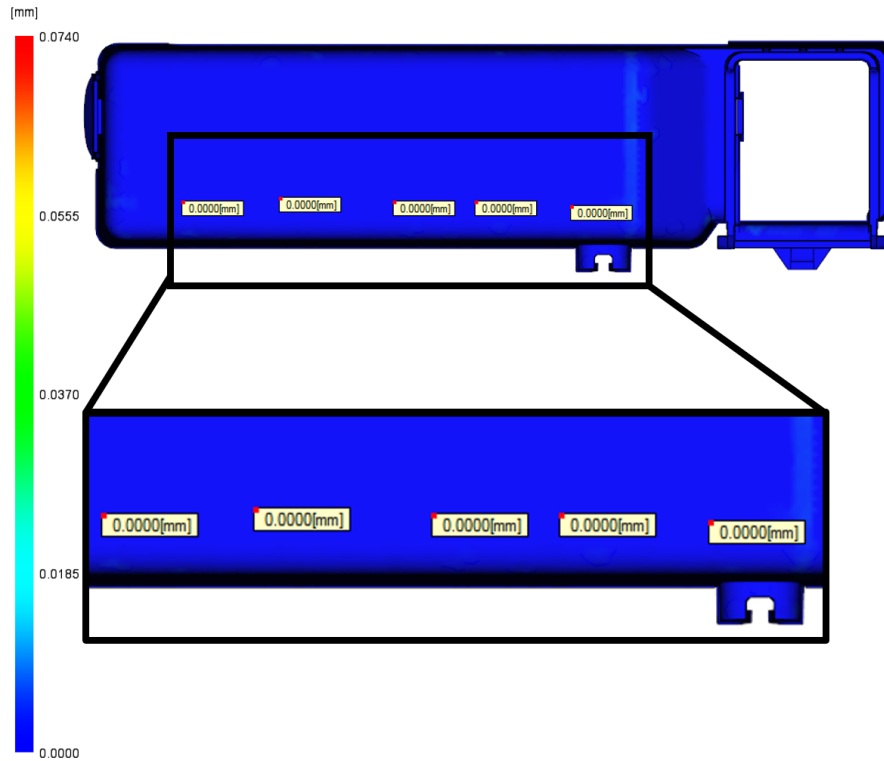


*Figura 4.14 Resultados de la simulación en Moldflow® para el warpage en el eje X con el rediseño de aumento de grosor en la cubierta.*

### **Resultados en cubierta rediseñada sin costillas**

El segundo rediseño fue el de la eliminación de las costillas que provocan las *sink marks*, este rediseño se realizó con el fin de saber como se comportaría la cubierta si no tuviera costillas, ya que las costillas se agregan en los diseños de piezas moldeadas para dar rigidez en paredes críticas de la pieza.

En la figura 4.15, se muestran los resultados de estimación de *sink marks* para el rediseño sin costillas, la cual muestran 0.00 mm de depresión en el area donde tenemos sink mark en la cubierta actual.



*Figura 4.15 Resultados de la simulación en Moldflow® para la estimación de sink marks con el rediseño sin costillas que muestran 0.00 mm de depresión.*

En la figura 4.16, se muestra el análisis de *warpage* para el eje x, el cual muestra 0.3371 mm de deformación, que es mayor al que se tiene en la cubierta actual, la cual nos dice que las costillas si ayudan a la rigidez del componente.

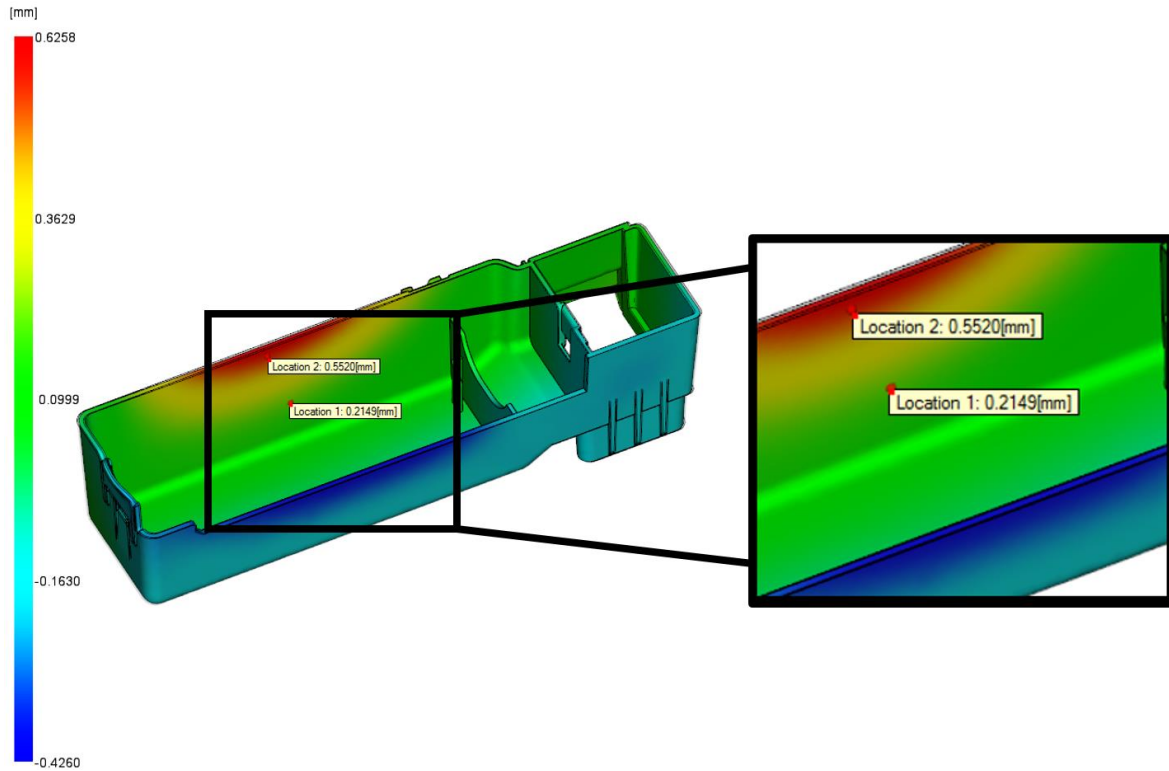
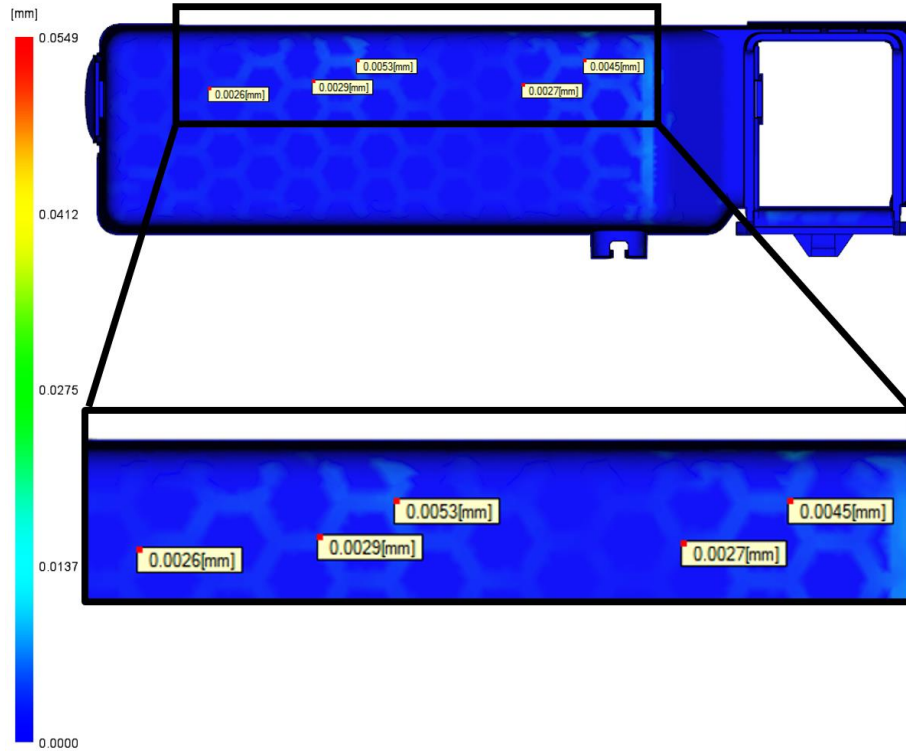


Figura 4.16 Resultados de la simulación en Moldflow® para el warpage en el eje X con el sin costillas en la cubierta.

### Resultados en cubierta rediseñada agregando estructura tipo *honey comb*

En la figura 4.17, se muestran los resultados del análisis de estimación de *sink marks* para la cubierta con rediseño con arreglo *honey comb*, el cual muestra depresiones desde 0.0026 mm hasta 0.0053 mm.



*Figura 4.17 Resultados de la simulación en Moldflow® para la estimación de sink marks con rediseño agregando honey comb en la cubierta que van desde 0.0026 mm hasta 0.0053 mm.*

En la figura 4.18, se muestran los resultados para *warpage* que fue de 0.2567 mm un poco por encima de lo que se tiene en la cubierta actual.

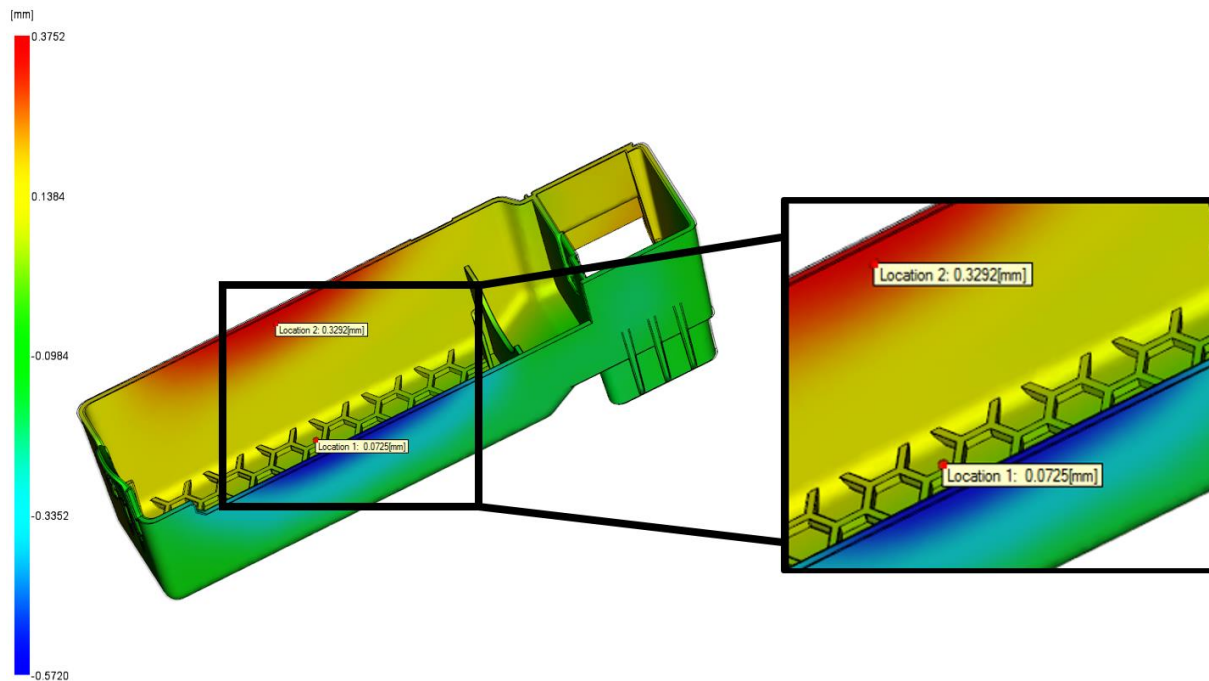
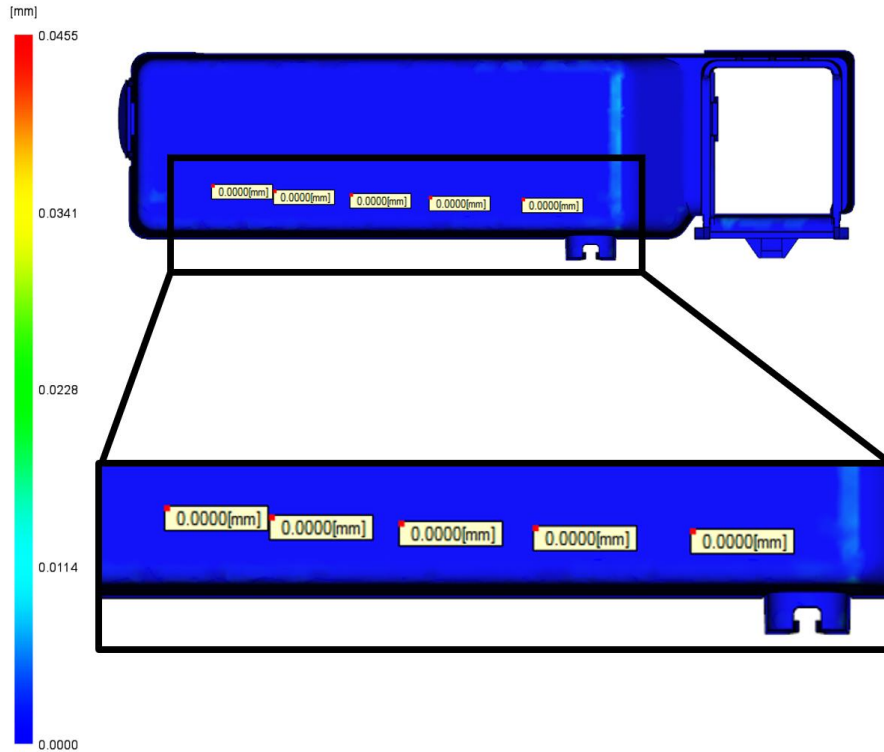


Figura 4.18 Resultados de la simulación en Moldflow® para el warpage en el eje X con el rediseño agregando estructura tipo honey comb.

### Resultados en cubierta rediseñada agregando un groove

Como se pudo observar en los resultados anteriores donde eliminamos las costillas, la mejor opción para la eliminación de *sink marks* es no usándolas, pero esto aumenta el *warp* de la pieza, por lo tanto, en la figura 4.19, también eliminamos las costillas la cual nos arrojó como resultados 0 mm de depresión en área donde tenemos *sink marks*, pero agregamos un canal, que en la industria llamamos *groove*.



*Figura 4.19 Resultados de la simulación en Moldflow® para la estimación de sink marks con rediseño agregando un groove que tiene 0 mm de depresión.*

Como se pudo observar en los resultados sin costillas es necesario tener una estructura para evitar el *warpage* por esta razón, se agregó el *groove* para ayudar a la pared a mantener lo más recta posible, en la figura 4.20 se muestra los resultados de *warpage* con este rediseño el cual nos dio 0.1909 mm de deformación.

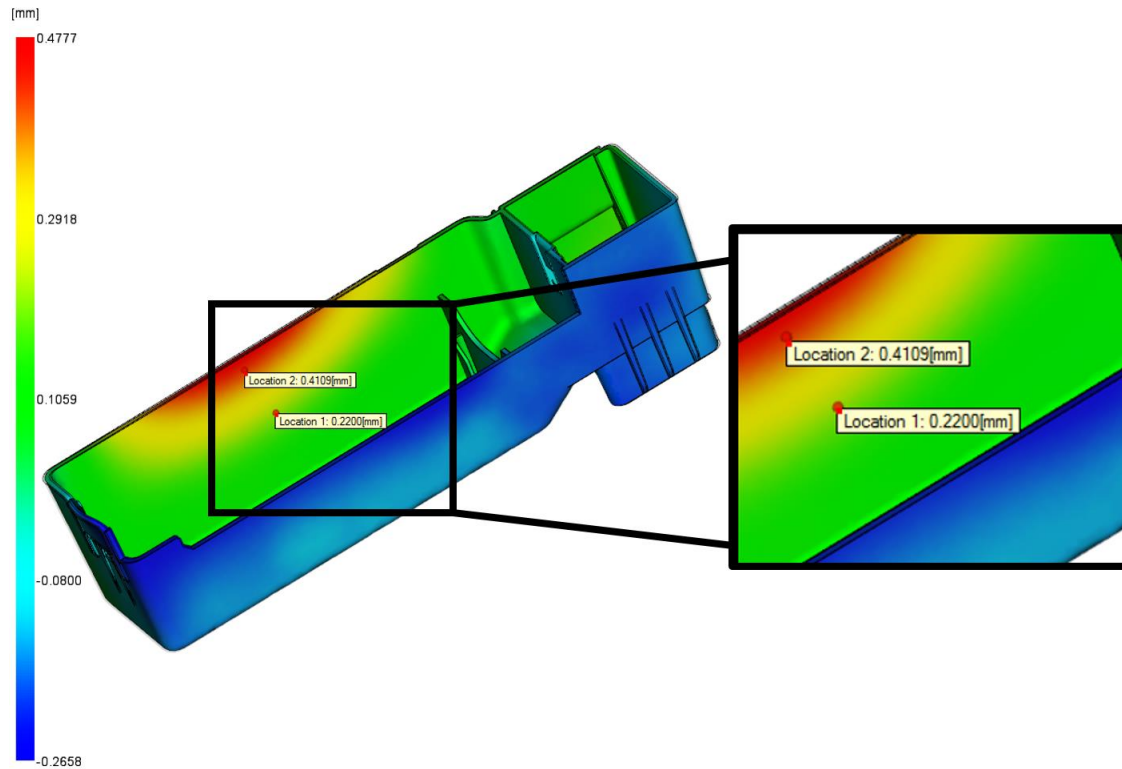


Figura 4.20 Resultados de la simulación en Moldflow® para el warpage en el eje X con el rediseño agregando un groove.

En la tabla 4.1, se muestra un resumen de los resultados para su fácil comparación, entre la cubierta actual con las opciones de rediseño que se dieron. Se tienen 3 columnas a considerar que es el volumen, promedio en milímetros de la depresión de *sink marks* y el *warpage* que pudiera existir en la pared crítica de la cubierta.

	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Promedio <i>sink marks</i> (mm)	Warpage (mm)
<b>Cubierta Actual</b>	72.6845	0.00284	0.2262
<b>Cubierta sin costillas</b>	69.8167	0	0.3371
<b>Cubierta con mayor grosor</b>	74.5647	0.00212	0.1154
<b>Cubierta con <i>Honey comb</i></b>	73.1088	0.00387	0.2567
<b>Cubierta con <i>groove</i></b>	70.3452	0	0.1909

Tabla 4.1 Resumen de resultados.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las conclusiones del proyecto son las siguientes:

- Se obtuvieron las dimensiones reales y condiciones actuales del proceso de inyección de la cubierta de la central eléctrica
  - Da confianza en los resultados de la simulación del proceso por Moldflow
- Haciendo uso del software Moldflow se optimizó el diseño de la cubierta de la central eléctrica
  - Los resultados muestran que reemplazando las costillas de la central eléctrica por un groove (canal) se eliminan los sink marks y se reduce el warpage en 15.6%
  - Con el nuevo diseño propuesto se ahorra el 4% en volumen de la materia prima
- Al reemplazar las costillas del diseño original de la cubierta por un Groove se mejora la calidad y apariencia estética de la pieza
  - Se disminuirán las quejas de cliente
- Comparando los resultados del rediseño sin costillas y el de sin costillas con *groove*, nos da una visualización de que no solo las costillas ayudan a dar rigidez a un componente, nos podemos apoyar de diferentes estructuras para lograrlo; como en este caso, la cubierta por sí sola no podía mantener la pared recta, necesitaba de las costillas para mantener una mínima deformación pero eran las causantes de un defecto estético, con el *groove* eliminamos los defectos estéticos y disminuimos la deformación.

- Con la revisión de literatura nos dimos cuenta de que el uso de la estructura tipo *honey comb* ayuda a dar rigidez cuando es una pieza que va a recibir algún impacto y también para mantener un componente lo más recto posible, pero por ser una estructura que necesita estar en toda el área provoca *sink marks*, es una buena estructura para usarla en lugares no visibles de cualquier pieza.
- Se recomienda hacer uso correcto de las guías de diseño y saber emplearlas para evitar retrabajos, al igual de hacer simulaciones hasta predecir algún problema de calidad que se pueda presentar y no solo de inyección de plástico, sino también de análisis de elemento finito y análisis de tolerancias.

## 6. GLOSARIO

*Sink mark*: “Un defecto visual en la superficie de una pieza moldeada” [3].

*Warpage*: “Distorsión dimensional causada por un cambio no uniforme de tensiones internas” [3].

*weld lines*: “Una debilidad o defecto visible creado cuando dos o más rutas de flujo se encuentran durante el proceso de llenado” [3]

*Honey comb*: “El empaquetamiento hexagonal de celdas es la forma más efectiva de agrupar tantas celdas como sea posible en un espacio, en forma de panal” [35].

*Groove*: “Un corte largo y estrecho o depresión en un material duro” [36]

*Gage*: “Un instrumento para medir una dimensión o para probar la precisión mecánica” [37].

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] R. Prada Ospina and J. C. Acosta Prado, “El MOLDEO EN EL PROCESO DE INYECCIÓN DE PLÁSTICOS PARA EL LOGRO DE OBJETIVOS EMPRESARIALES,” *Dimens. Empres.*, vol. 15, no. 1, pp. 226–234, 2017.
- [2] R. Aguirre, “Guía para solucionar los problemas más comunes en moldeo por inyección,” 2000. [Online]. Available: <https://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/5878-Guia-para-solucionar-los-problemas-mas-comunes-en-moldeo-por-inyeccion.html>.
- [3] Autodesk, “AUTODESK,” 2017. [Online]. Available: <https://knowledge.autodesk.com/es/support/moldflow-adviser/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2018/ESP/MoldflowAdviser-Troubleshooting/files/GUID-18F57182-6059-4403-9075-398B08B7AD2A-hm.html>. [Accessed: 07-Oct-2019].
- [4] Moldex3D, “Moldex3D,” 2019. [Online]. Available: <https://www.moldex3d.com/en/>. [Accessed: 07-Oct-2019].
- [5] Sigmasoft, “Sigmasoft,” 2019. [Online]. Available: <https://www.sigmasoft.de/en/home/>. [Accessed: 07-Oct-2019].
- [6] Solidworks, “Solidworks,” 2019. [Online]. Available: <https://www.solidworks.com/es>. [Accessed: 07-Oct-2019].
- [7] W. Guo, L. Hua, and H. Mao, “Minimization of sink mark depth in injection-molded thermoplastic through design of experiments and genetic algorithm,” *Int. J. Adv.*

- Manuf. Technol.*, vol. 72, no. 1–4, pp. 365–375, 2014.
- [8] K. H. Kim, J. C. Park, Y. S. Suh, and B. H. Koo, “Interactive robust optimal design of plastic injection products with minimum weldlines,” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 88, no. 5–8, pp. 1333–1344, 2017.
- [9] S. Kitayama, R. Onuki, and K. Yamazaki, “Warpage reduction with variable pressure profile in plastic injection molding via sequential approximate optimization,” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 72, no. 5–8, pp. 827–838, 2014.
- [10] S. C. Nian, C. Y. Wu, and M. S. Huang, “Warpage control of thin-walled injection molding using local mold temperatures,” *Int. Commun. Heat Mass Transf.*, vol. 61, no. 1, pp. 102–110, 2015.
- [11] D. P. Gruber, J. Macher, D. Haba, G. R. Berger, G. Pacher, and W. Friesenbichler, “Measurement of the visual perceptibility of sink marks on injection molding parts by a new fast processing model,” *Polym. Test.*, vol. 33, pp. 7–12, 2014.
- [12] R. Co., “Part Design Guidelines for Injection Molded Thermoplastics,” pp. 1–5, 2017.
- [13] L. Zhang, J. Lei, and X. Dai, “Design and optimization of injection mold for camera shell based on mold flow analysis,” *ACM Int. Conf. Proceeding Ser.*, pp. 205–208, 2018.
- [14] Y.-C. Chen, S.-L. Wang, and Y.-H. Wang, “Ram Injection Molding Mold Flow Analysis and Process Parameter Optimization,” *Int. J. Organ. Innov.*, vol. 7, no. April 2015, pp. 165–184.

- [15] S. Baofu, Y. Weifeng, and D. Xuanjun, "Analysis of gating system for automobile roof window based on moldflow," *ACM Int. Conf. Proceeding Ser.*, pp. 100–104, 2018.
- [16] B. F. Sun, S. J. Yang, and C. Jiang, "Analysis of car's skylight for injection molding based on moldflow," *ACM Int. Conf. Proceeding Ser.*, pp. 91–94, 2018.
- [17] M. Moayyedian, K. Abhary, and R. Marian, "New Design Feature of Mold in Injection Molding For Scrap Reduction," *Procedia Manuf.*, 2015.
- [18] Editorial, "Industria," *Importancia.org*, 2013. .
- [19] R. A. Española, "Diccionario de la lengua española," 2019. [Online]. Available: <http://www.rae.es>. [Accessed: 05-Nov-2019].
- [20] D. García, "Automotriz, segunda industria más importante en México," *Milenio*, 2018.
- [21] A. Guzmán, "Seguridad y Medio Ambiente MAPFRE," 2013.
- [22] P. George, "Top 5 Materials Used in Auto Manufacturing," 2009. [Online]. Available: <https://auto.howstuffworks.com/under-the-hood/auto-manufacturing/5-materials-used-in-auto-manufacturing1.htm>. [Accessed: 19-May-2020].
- [23] M. Groover, *Fundamentos De Manufactura Moderna*, vol. 92, no. 3. 2018.
- [24] S. Kalpakjian, S. R. Schmid, and U. López, *Manufactura, ingeniería y tecnología*. 2002.
- [25] E. ESSS, "¿Cuál es la Importancia de un Ingeniero en la Simulación Computacional?," *ESSS*, 2016. .

- [26] S. Manmit, K. Rushikesh, V. Lomate, and S. Gajanan, "Injection Molding Methods Design , Optimization , Simulation of Plastic Toy Building Block By Mold Ijmet," pp. 33–42, 2015.
- [27] X. P. Dang, "General frameworks for optimization of plastic injection molding process parameters," *Simul. Model. Pract. Theory*, vol. 41, pp. 15–27, 2014.
- [28] J. Dobránsky, P. Baron, M. KoČiško, L. BĚhálek, and E. Vojnová, "Solving depressions formed during production of plastic molding," *Metalurgija*, vol. 54, no. 3, pp. 496–498, 2015.
- [29] P. H. Foss, H. Tseng, J. Snawerdt, Y. Chang, W. Yang, and C. Hsu, "Polyvinyl Alcohol-Modified Pithecellobium Clypearia Benth Herbal Residue FiberPolypropylene Composites," *Polym. Compos.*, vol. 37, no. 1, pp. 915–924, 2016.
- [30] Grabowski, A. Baier, M. Majzner, and M. Sobek, "Composite materials molding simulation for purpose of automotive industry," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 145, no. 2, 2016.
- [31] M. A. B. Marzuki, M. A. Abu Bakar, and M. F. Mohammed Azmi, "Designing Space Frame Race Car Chassis Structure Using Natural Frequencies Data From Ansys Mode Shape Analysis," *Int. J. Inf. Syst. Eng.*, vol. 3, no. 1, pp. 54–63, 2015.
- [32] W. Sun, F. Lin, and X. Hu, "Computer-aided design and modeling of composite unit cells," *Compos. Sci. Technol.*, vol. 61, no. 2, pp. 289–299, 2001.
- [33] J. H. Park and K. J. Kim, "Optimal design of camber link component for light weight

automobile using CAE (Computer Aided Engineering),” *Int. J. Precis. Eng. Manuf.*, vol. 14, no. 8, pp. 1433–1437, 2013.

[34] Z. Pan, X. Wang, R. Teng, and X. Cao, “Computer-aided design-while-engineering technology in top-down modeling of mechanical product,” *Comput. Ind.*, vol. 75, pp. 151–161, 2016.

[35] “Hexagonos en un mundo empaquetado.” [Online]. Available: <http://cienciateca.com/ctshexag.html>.

[36] “Lexico Powered by Oxford.” [Online]. Available: <https://www.lexico.com/definition/groove>.

[37] “Merriam-webster.” [Online]. Available: <https://www.merriam-webster.com/dictionary/gage>.